

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie
Studijní obor: Antropologie a genetika člověka



Bc. Tomáš Thon

Morfologie dolní čelisti s ohledem na demografickou strukturu raně středověkého pohřebiště
Mikulčice

*Morphology of the mandible with regard to the demographic structure of the early medieval
burial area Mikulčice*

Diplomová práce

Vedoucí práce/Školitel: RNDr. Šárka Bejdová, Ph.D.

Praha, 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 10. 8. 2020

Podpis

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování RNDr. Šárce Bejdové, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, cenné rady poskytnuté během konzultací i ochotu a trpělivý přístup. Nesmím zapomenout ani na doc. RNDr. Janu Velemínskou, PhD., které děkuji za veškerou pomoc poskytnutou během konzultací. Mé díky patří i Mgr. Ján Dupejovi za trpělivost s kterou mi pomáhal při analýze dat. Dále bych chtěl poděkovat RNDr. Petrovi Velemínskému, Ph.D. z Národního muzea a RNDr. Zdeňkovi Tvrdému z Moravského zemského muzea za laskavou spolupráci při zapůjčení kosterního materiálu. Mé díky patří i Mgr. Lence Kořejové Jaklové a Mgr. Karolíně Kočandrlové za cenné rady při zpracování materiálu a analýze dat. Poděkování v neposlední řadě patří členům mé rodiny za podporu, kterou mi poskytovali v rámci celého studia.

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Teoretický úvod	7
2.1	Historický kontext (Velká Morava).....	7
2.1.1	Velkomoravská říše	7
2.2	Klima	10
2.3	Mikulčice	10
2.3.1	Hroby.....	12
2.4	Strava	14
2.4.1	Archeologický záznam	14
2.4.2	Izotopové metody	15
2.5	Morfologie dolní čelisti	19
2.5.1	Vliv žvýkání	19
2.5.2	Kontext a interakce se zbytkem lebky.....	22
2.5.3	Pohlavní dimorfismus.....	22
3	Cíle a hypotézy	25
4	Materiál	26
5	Metody	27
5.1	Statistické analýzy	30
5.1.1	Dvouvýběrový t-test	30
5.1.2	Analýza hlavních komponent (PCA).....	30
5.1.3	MANOVA (<i>Multivariate analysis of variance</i>)	31
5.1.4	Metoda podpůrných vektorů (SVM)	31
6	Výsledky	32
6.1	Vyhodnocení morfologie dolní čelisti analýzou hlavních komponent (PCA) 32	
6.1.1	Forma.....	33
6.1.2	Tvar.....	38

6.2	Morfologie dolní čelisti	43
6.2.1	Pohlavní dimorfismus celé populace	43
	Pohlavní dimorfismus jedinců z hradu.....	46
6.2.2	Pohlavní dimorfismus jedinců z podhradí	48
6.2.3	Pohlavní dimorfismus jedinců ze zázemí	50
6.2.4	Pohlavní dimorfismus jedinců s bohatou hrobovou výbavou	52
6.2.5	Pohlavní dimorfismus jedinců s chudou hrobovou výbavou	54
6.2.6	Srovnání morfologie jedinců z hradu s jedinci z podhradí.....	56
6.2.7	Srovnání morfologie jedinců z hradu s jedinci ze zázemí	60
6.2.8	Srovnání morfologie jedinců z podhradí s jedinci ze zázemí.....	64
6.2.9	Srovnání morfologie jedinců s bohatou a chudou hrobovou výbavou	68
6.3	Analýza skupin obyvatelstva metodou podpůrných vektorů (SVM)	72
6.3.1	Forma.....	72
6.3.2	Tvar.....	73
7	Diskuze	75
7.1	Pohlavní dimorfismus.....	75
7.2	Morfologie dolní čelisti v závislosti na lokalitě hrobu	78
7.3	Morfologie dolní čelisti v závislosti na hrobové výbavě.....	79
8	Závěr	81
9	Seznam použité literatury	83
10	Seznam zkratk	91
11	Seznam antropometrických bodů a linií.....	92

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou vlivu socioekonomického postavení na morfologii dolní čelisti jedinců z raně středověkého pohřebiště v Mikulčicích. Toto hradiště bylo významným mocenským centrem Velkomoravské říše s rozvrstvenou společností. V této práci jsou porovnávány 2 odlišné přístupy rozlišení jedinců. Prvním z nich je rozdělení jedinců na základě lokality hrobů na jedince z hradu, podhradí a zázemí. Druhým přístupem je rozlišení na základě bohatosti hrobové výbavy na jedince s bohatou a jedince s chudou hrobovou výbavou. Odlišné společenské postavení je spojováno především s rozdílnou stravou. Proto jsou nejvíce ovlivněny úpony žvýkacích svalů.

Dohromady bylo zkoumáno 132 jedinců (59 mužů a 73 žen). Materiál byl vyhodnocen za pomoci metod geometrické morfometrie. Použity byly metody CDP DCA, GPA, dvouvýběrový t-test, PCA, MANOVA a SVM.

U všech skupin mikulčického obyvatelstva byl pozorován pohlavní dimorfismus. Muži mají větší dolní čelisti s rameny dál od sebe. Největší rozdíly jsou u jedinců z hradu, nejmenší u jedinců s bohatou hrobovou výbavou. Rozdělení jedinců na základě lokality hrobů ukazuje, že jedinci z vyšší vrstvy mají větší dolní čelisti s rameny dál od sebe. Největší rozdíly jsou mezi ženami z hradu a ženami z podhradí. Nejmenší rozdíly jsou mezi muži z hradu a z podhradí. U rozdělení podle hrobové výbavy mají jedinci s bohatou hrobovou výbavou větší dolní čelisti s rameny dál od sebe. Větší rozdíl je u žen. Výsledky naznačují, že rozdělení jedinců na základě lokality hrobů odpovídá skutečnému uspořádání mikulčické společnosti lépe než rozdělení podle hrobové výbavy.

Klíčová slova: Velká Morava, raný středověk, dolní čelist, pohlavní dimorfismus, socioekonomické postavení, geometrická morfometrie, CT-skeny, support vectors machines

Abstract

This Master's thesis focuses on the influence of socioeconomic status on the morphology of the mandible of individuals from the early medieval burial area in Mikulčice. This hillfort was an important center of power of the Great Moravian Empire with a stratified society. This work compares 2 different approaches on how to divide the inhabitants. The first of them is the division of individuals according to the location of graves into individuals from the castle, sub-castle, and hinterland. The second approach is the division of individuals according to the richness of grave equipment into individuals with rich and poor grave equipment. A different social status is associated mainly with different diets. Therefore, the attachments of the masticatory muscles are the most affected areas.

A total of 132 individuals (59 males and 73 females) were analyzed. The material was evaluated by methods of geometric morphometrics. The used methods were CDP DCA, GPA, two-sample t-test, PCA, MANOVA, and SVM.

Sexual dimorphism was observed in all sub-groups of the Mikulčice population. Men have larger mandibles with rami wider apart. The biggest differences are between individuals from the castle, the smallest between individuals with rich grave equipment. The distribution of individuals based on the location of graves shows that individuals from the upper class have larger mandibles with rami wider apart. The biggest differences are between women from the castle and women from the sub-castle. The smallest differences are between the men from the castle and the sub-castle. When divided according to grave goods, individuals with rich grave goods have larger mandible with rami wider apart. There is a bigger difference between women. The results suggest that the division of individuals based on the location of graves corresponds better to the actual social structure of the Mikulčice society than the division according to grave equipment.

Key words: Great Moravia, Early Middle Ages, mandible, sexual dimorphism, socioeconomic status, geometric morphometry, CT-scans, support vectors machines

1 Úvod

Velká Morava byla prvním slovanským státním útvarem, který existoval během 9. a 10. století našeho letopočtu. Její centrum leželo na území dnešní Moravy a západního Slovenska (Poulík, 1962; Poláček, 2008a; Štefan, 2011; Macháček, 2012). Kulturně i politicky stála Velká Morava na hranici Byzantské říše, Říma a Francké říše. V náboženské rovině je významný vliv především Byzantské říše. Díky náboženským misím přijala křesťanství nejprve vládnoucí vrstva. Vliv křesťanských rituálů na pohřební ritus napříč společenskými vrstvami je patrný od druhé poloviny 9. století (Poulík, 1962, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976; Havlík, 1978; Poláček, 2008a).

Jak písemné, tak archeologické záznamy z období Velké Moravy vypovídají o významném socioekonomickém rozvrstvení společnosti z pohledu práv, majetku i dostupných zdrojů (Poláček, 2008a; Kaupová, 2017; Kaupová et al., 2018). Na vrcholu společnosti byla rodová a majetková aristokracie (knížata, velmoži), významné postavení měli také kněží, vojáci a svobodní nájemci půdy (Poulík, 1975; Poláček, 2008a). Na opačném konci se nacházeli nemajetní a lidé bez práv. Většinu populace tvořili prostí lidé. Jednalo se o raně feudální nevolnickou společnost (Poulík, 1962; Stloukal a Vyhnálek, 1976; Poláček, 2008a).

Státní moc byla založena na pevnostech rozmístěných po území Velké Moravy (Havlík, 1978; Poláček, 2008a). Jednou z nich bylo mikulčické hradiště, jehož hlavní opevněné osídlení se rozkládalo v údolí řeky Moravy na písčných dunách. V této části se nacházelo také velké množství kostelů a knížecí palác (Havlík, 1978; Poláček, 2008a). V okolí se rozkládalo široké zemědělské zázemí zajišťující potřeby centra (Poulík, 1962; Poláček, 2008a).

Vlivem odlišného socioekonomického postavení se lišil život obyvatel uvnitř mikulčického hradiště (hrad a podhradí) i v zázemí. To můžeme demonstrovat výsledky izotopových analýz potravy. Strava jedinců žijících v zázemí byla celkově tvrdší a obsahovala významně méně živočišných proteinů (Kaupová et al., 2018). Dalším vysvětlením odlišného socioekonomického postavení je rozdíl v mobilitě pohlaví. Nejběžnější je patrilokalita a patrilinearita, kdy muži zůstávají v místě původu a v mužské linii se dědí postavení a privilegia, avšak ženy mohou pocházet odjinud (Kjellström et al., 2009). Toto je běžné uspořádání středověké společnosti, při kterém především ženy privilegovaných mužů mohly pocházet z odlišného prostředí s rozdílnými stravovacími návyky. Rozdíly ve stravování jsou

ale patrné i uvnitř hradiště (hrad a podhradí). Muži z hradu konzumovali více živočišných proteinů než ženy. Tento rozdíl se navíc výrazně zvětšoval s rostoucím společenským statusem (Kaupová et al., 2018). Kromě vyšší konzumace masa jedinci s vyšším společenským postavením konzumovaly více prosa (Halffman a Velemínský, 2015). Společenské postavení ukazuje i bohatost hrobové výbavy a prestiž lokality umístění hrobu (Poulík, 1975; Poláček, 2008a).

Je dobře známo, že rozdílné složení potravy je jedním z faktorů ovlivňujících morfologii dolní čelisti. Odlišné zatížení žvýkacích svalů se nejvíce projevuje v oblastech jejich úponů, které se podílejí na elevaci dolní čelisti (Lavelle, 1972; Paschetta et al., 2010). Jde tedy především o úpony *musculus temporalis*, *musculus masseter* a vnitřního *musculus pterygoideus medialis*. Přímý vliv je patrný na *processus coronoideus*, úhlu dolní čelisti, *tuberositas masseterica* a *tuberositas pterygoide*. (Hylander, 2006; White et al., 2012). Vliv žvýkání na morfologii dolní čelisti je však komplikovanější a více či méně jsou ovlivňovány všechny oblasti dolní čelisti (Kaifu, 1997; Wrangham a Conklin-Brittain, 2003).

Cílem této práce je prozkoumat morfologii dolní čelisti s ohledem na socioekonomické postavení zkoumaných jedinců pocházejících z raně středověké lokality mikulčického hradiště a jeho zázemí. Morfologie dolní čelisti je zkoumána v kontextu lokalizace hrobů v rámci mikulčického areálu i hrobové výbavy. Lokalita hradu a bohatší hrobová výbava by měli odpovídat vyššímu společenskému statutu. Cílem práce je ověřit, zda morfologie dolní čelisti a míra pohlavního dimorfismu budou spíše odrážet lokalitu v rámci areálu, ve které se hrob nachází nebo bohatost hrobové výbavy.

2 Teoretický úvod

2.1 Historický kontext (Velká Morava)

2.1.1 Velkomoravská říše

Velkomoravská říše, zkráceně též Velká Morava, byla prvním útvarem Slovanů (Poulík, 1962; Hladík et al., 2008). Vnitřní struktura tohoto útvaru se pohybovala mezi náčelnictvím, cyklickým náčelnictvím a časným státem (Štefan, 2011; Macháček, 2012). Tento útvar existoval po dobu 9. a 10. století n. l. (Poulík, 1962; Poláček, 2008a). V jeho čele stála knížata Mojmir I., Rostislav a Svatopluk. (Poulík, 1962) z rodu Mojmírovců (Stloukal a Vyhnálek, 1976). Centrem tohoto státního útvaru bylo území dnešní Moravy (Stará Morava) a západní Slovensko (Nitranské knížectví) (Obr. 1 a 2) (Poulík, 1962, 1975; Poláček, 2008a; Štefan, 2011). Postupně však došlo k územní expanzi a součástí Velké Moravy se stala i velká část Čech a Slovenska, dále Lužice, Malopolsko, část povodí řeky Tisy a část Panonie po soutok řeky Moravy a Dunaje (Obr. 1). Přesné vymezení je však značně problematické vzhledem k dynamice politického a společenského vývoje (Poulík, 1962; Havlík, 1978; Poláček, 2008a). V době největšího rozmachu Velká Morava ovládala území o rozloze mezi 320 až 350 tisíci km². Populace mohla dosahovat 1 až 1,5 milionu obyvatel (Havlík, 1978). Největší rozvoj prodělala Velká Morava na konci 9. století n. l. Na začátku 10. století n. l. náhle mizí z písemných záznamů. Nejčastěji je zmiňován rok 906. n. l. (Poulík, 1962, 1975; Havlík, 1978).

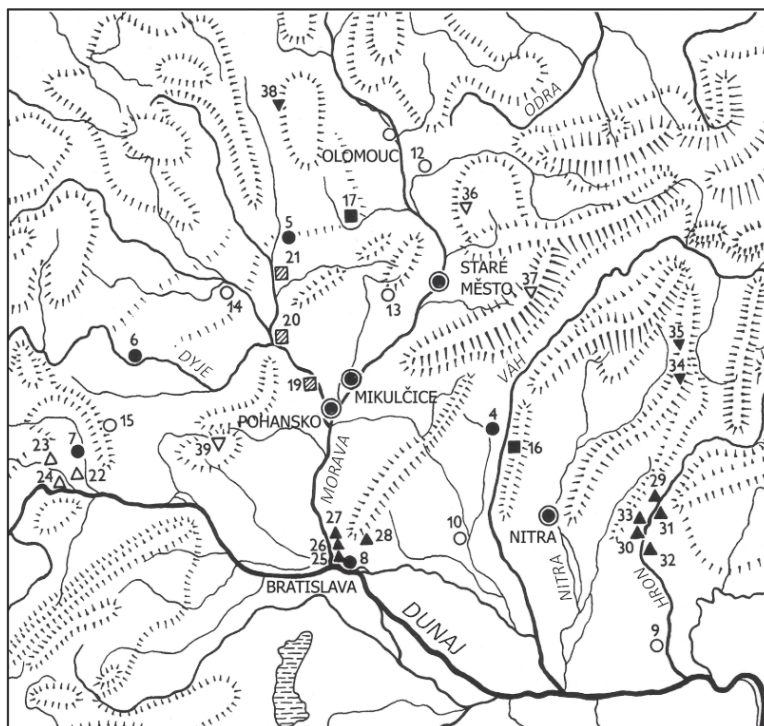
Společnost Velké Moravy byla silně socioekonomicky rozvrstvená (Havlík, 1978; Poláček, 2008a; Štefan, 2011). Jednalo se o raně feudální nevolnickou společnost (Poulík, 1962; Stloukal a Vyhnálek, 1976). Knížata a velmoži byli rodovou a majetkovou aristokracií s nejvyšším postavením. Významnou a bohatou vrstvou byli také kněží, příslušníci vojenské družiny a svobodní nájemci (Poulík, 1975; Havlík, 1978; Poláček, 2008a). Většina obyvatel spadala do kategorie prostých lidí (poddaných), kteří vyšší třídě odváděli daně a robotu. Nejhorší postavení měli nevolníci a bezprávní lidé, jejichž pozice byla obdobná otroctví. Bylo s nimi zacházeno jako s majetkem. Bezprávní lidé a nevolníci byli zpravidla zajatci nebo dlužníci (Havlík, 1978; Poláček, 2008a).



Obrázek 1: Mapa Velkomoravské říše a přilehlých států na konci 9. století. Centrum Velké Moravy se rozkládalo na území dnešní Moravy a západního Slovenska (upraveno podle Kaupová et al., 2014).

Politicky stála Velká Morava na pomezí vlivu Francké říše (později Východofrancké říše), Říma a Byzantské říše (Poulík, 1975). S jejím rozrůstajícím se územím rostl i její význam a vliv (Poulík, 1962). Z náboženského hlediska byl důležitý kontakt s Byzantskou říší i s Římem (Stloukal a Vyhnálek, 1976; Havlík, 1978; Poláček, 2008a). Křesťanství začalo na území Velké Moravy pronikat nejprve z přilehlých bavorských oblastí, ale i Itálie, Dalmácie a Řecka. Teprve s byzantskými misemi došlo k systematickému šíření víry ve slovanském jazyce, který byl srozumitelný místnímu obyvatelstvu (Stloukal a Vyhnálek, 1976; Havlík, 1978). Křesťanství se nejprve šířilo mezi vyšší třídou, oproti tomu mezi vesnické

obyvatelstvo pronikalo pozvolna a po celé 9. století n. l. v něm přetrvaly i pohanské tradice (Poulík, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976; Poláček, 2008a).



Obrázek 2: Mapa opevněných osídlení v centru Velkomoravské říše (upraveno podle Štefan, 2011).

Státní moc byla na Velké Moravě zajištěna opevněnými hradišti (Poulík, 1975). Ta sloužila jako centra specializované řemeslné výroby a obchodu. Hradiště měla také vojensko-správní, soudní a fiskální orgány (Havlík, 1978). Nejvýznamnější osídlení Velké Moravy se rozkládala na nepravidelně zaplavovaných písčinych říčních nivách, především řeky Moravy s přítoky, ale i povodí Dunaje dále po proudu (Obr. 2) (Poulík, 1962, 1975; Havlík, 1978). (Poláček, 2008a; Štefan, 2011; Kaupová, 2017). Řeka Morava byla v době Velké Moravy splavná a jednalo se o důležitý dopravní koridor (Poulík, 1975). Osídlení se často rozkládala na písčinych dunách (Havlíček et al., 2003; Hladík, 2014).

Na území Velké Moravy je známo nejméně 30 opevněných osídlení (Stloukal a Vyhnálek, 1970, 1976; Poulík, 1975; Poláček, 2008a). Jsou mezi nimi Hradiště nad Znojmem, Petrova louka u Strachotína, Rajhard, Staré Zámky u Brna, Pohansko u Břeclavi a u Nejdku, Olomouc, Dolní Věstonice, Děvín u Bratislavy či Pobedim na řece Váhu (Poulík, 1962, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976). Výsadní postavení centrálních hradišť mají Staré město-Uherského Hradiště, Nitra a Mikulčice „Na valech“ (Poláček, 2008a).

2.2 Klima

Období Velkomoravské říše spadá do periody subatlantiku I (800 let př. n. l. až 1000 let n. l.), během kterého bylo klima studenější a vlhčí než dnes. Předvelkomoravské období zasáhla etapa raně středověkého pesima vyznačujícího se chladnějšími zimami a vlhčím klimatem, které končí kolem roku 750 n. l. (Behringer, 2010). To odpovídá celosvětové proměně klimatu, kdy postupně od poloviny 1. tisíciletí n. l. začíná relativně suchá fáze s gradujícím ústupem srážek. Toto období ve střední Evropě končí během 10. století. Okolo konce 1. tisíciletí n. l. množství srážek opět narůstá (Macháček et al., 2007). V rozmezí let 800 n. l. a 900 n. l. začíná období malého klimatického optima (Svoboda et al., 2003). Ve střední Evropě začíná až rokem 875 n. l. (Macháček, 2013), kdy končí sekvence let vyznačujících se velmi chladnými zimami a neúrodou. V tomto období se průměrné dlouhodobé teploty pohybovaly o 1 až 1,5 °C výše než je dnešní dlouhodobá teplota (Svoboda et al., 2003). Proto bývá toto optimum označované za jedno z nejteplejších za poslední dvě tisíciletí (Macháček, 2013). Postupně se otepluje a podnebí je vlhčí (Svoboda et al., 2003). Konec 9. a většina 10. století jsou poměrně vlhké s hojností srážek (Macháček et al., 2007). První polovina 10. století je ve znamení krátkého ochlazení. Klimatické optimum je celosvětově ukončeno 11. stoletím (Macháček, 2013), ve střední Evropě toto období končí rokem 1194 n. l. (Svoboda et al., 2003).

2.3 Mikulčice

Ještě před obdobím Velké Moravy se u Mikulčic „Na valech“ mezi druhou polovinou 6. a koncem 8. století nacházelo slovanské osídlení (Poulík, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976) neagrárního charakteru (Stloukal a Vyhnálek, 1976). Jednalo se o hradiště na písčinných dunách obklopené rameny řeky Moravy (Oprail, 2000; Poláček et al., 2005; Poláček, 2008a). Bylo opevněné dřevěnou palisádou (severní část akropole) s vnitřní plochou přesahující 4 ha. Na severozápadní straně bylo k hradu připojeno předhradní sídliště na Štěpnici (Poulík, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976; Poláček, 2008a) s rozlohou přes 3 ha, které bylo opevněné palisádou a hliněným valem s dřevěnými komorovými konstrukcemi (Obr. 3) (Poulík, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976).

O významnosti tohoto předvelkomoravského hradiště svědčí jeho mohutné přebudování na přelomu 8. a 9. století n. l. Na jihozápadní straně byla centrální část (akropole) rozšířena o jižní oblast vyznačenou terénním zlomem s rozlohou přes 3 ha (Obr. 3). Původní opevnění palisádou a valem (akropole i sídliště na Štěpnici) bylo nahrazeno

mohutnou hradbou s kamennými a dřevěnými konstrukcemi. Opevnění obdobných rozměrů není z území Velké Moravy známo (Poulík, 1962, 1975). V akropoli byly později vybudovány četné kostely i knížecí palác. (Poulík, 1962). V předhradí na Štěpnici patrně sídlila vojenská družina jezdců. (Poulík, 1975; Poláček, 2008a).



Obrázek 3: Velkomoravské hradiště Mikulčice „Na Valech“: 1 opevnění akropole (Štěpnice a východní strana Těšlického lesa), 2 terénní zlomy (akropole, Kostelisko a západní strana Těšlického lesa), 3 předpokládané koryto řeky Moravy, 4 standardní číslování kostelů a palác (upraveno podle Poláček, 2008a).

V okolí opevněného centra aglomerace se nacházelo podhradí. Takto je označená oblast do 700 m od opevněného centra (Poláček, 2008a). Jihozápadním směrem od hradiště, oddělen ramenem řeky Moravy, se nacházel pravděpodobně opevněný velmožský dvorec (Kostelisko) (Poulík, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976). Další lokalitou na samostatném ostrově bylo rozsáhlé Severní podhradí. Šlo o záplavovou zemědělskou oblast, která zajišťovala potřeby centra (Poláček, 2008a). Na severovýchodním ostrově leží lokalita Těšlický les a Kostelec (Klášteřisko) o rozloze 10 ha (Obr. 3) (Poulík, 1975). Jak Kostelisko, tak Těšlický les jsou nejvýrazněji osídlené oblasti podhradí s významnými pohřebišti (Poláček, 2008a). Osídlení se především v druhé polovině 9. století n. l. rozrůstalo z centrální opevněné oblasti na písčném vrchu do méně příhodných záplavových oblastí podhradí. Mohl

za to jak nárůst populace, tak přesun obyvatel z akropole v důsledku výstavby kostelů a dalších sakrálních staveb (Poláček, 1997).

V okolí samotného hradiště se nacházelo rozsáhlé zemědělské zázemí s mnohými sídlišti. Oblast zázemí je vymezena pomyslnou kružnicí o poloměru 10 km (Poláček, 2008a). Mezi sídliště v této oblasti patří například Trapíkov, Prušánky, Josefov nebo Kopčany a Nechvalín (Poulík, 1962; Poláček, 2008a; Stránská et al., 2008). Hradiště s rozsáhlým podhradím a zázemím pokrývalo oblast přesahující 200 ha (Poulík, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976).

Mimo osídlení bylo záplavové okolí tvořeno lužními lesy tvořenými jilmy, jasany a topoly. Sušší nezáplavové oblasti pokrývaly smíšené dubovo-habrové lesy. Z pylových analýz vyplývá, že tyto porosty čelily rozsáhlému odlesnění způsobenému lidskou činností (Macháček et al., 2007; Hladík, 2014).

Počet obyvatel mikulčického hradiště a přilehlých osídlení se pravděpodobně pohyboval kolem 1000 až 2000 lidí (Poulík, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976; Poláček, 2008a). Na významnost mikulčického hradiště ukazuje velké množství kostelů i přítomnost knížecího paláce (Obr. 3) (Poulík, 1975; Poláček, 2008a). V areálu byly přítomny dokonalé řemeslné výrobny. O tom svědčí nalezené pozlacené ostruhy i šperky (Poulík, 1962). Mikulčické hradiště je výjimečné svým mohutným opevněním kombinujícím geografickou polohu i umělou hradbu. Ve srovnání s jinými velkomoravskými hradišti bylo v Mikulčicích nalezeno nebývalé množství předmětů (meče, ostruhy, šperky,...). Nalezeny byly i doklady intenzivní řemeslné produkce. To vše společně s předvelkomoravským osídlením nabízí možnost, že se jednalo o knížecí město. Mikulčice tedy mohly být centrem rodu Mojžírovců i Velkomoravské říše (Poulík, 1975; Poláček, 2008a).

2.3.1 Hroby

Na Velkomoravských pohřebištích jsou hroby zpravidla organizovány do menších nepravidelných skupin, v okolí kostelů do nepravidelných řad. Vnitřní struktura je různorodá. Hroby mohou mít dřevěné i kamenné obklady, případně se může jednat o výklenky uvnitř kostelů. Významné množství hrobů obsahuje výbavu poukazující na pohanskou tradici. V závislosti na sociálním postavení a významnosti zemřelého se hrobová výbava liší svou bohatostí (Dostál, 1966; Poláček, 2008a).

V celém areálu Mikulčic bylo zatím objeveno přes 2500 hrobů. Většina se jich nalézá kolem kostelů (Poláček a Marek, 2005; Poláček, 2008a). Nejvíce jich bylo odkryto na

pohřebištích v rámci akropole (v okolí III. kostela) a uvnitř Kosteliska (Obr. 3) (Hladík et al., 2008; Poláček, 2008a).

Hroby s bohatou výbavou patřily velmožům. Zpravidla se nacházejí přímo v kostelích nebo v jejich okolí (Poulík, 1975). U mužů se jedná především o nálezy železných a bronzových ostruh, které jsou často zlacené nebo zdobené stříbrem a mědí (Poulík, 1962, 1975). Přítomny jsou i honosná kování pásů a jejich nákončí, dýky, mečíky, meče, sekery a kopí (Poulík, 1962; Stloukal a Vyhnálek, 1976). U žen jde o nálezy zlatých a stříbrných náušnic, záušnic, prstenů, gombíků a dalších ozdobných předmětů (Poulík, 1962). Tyto předměty jsou typicky zdobeny granulací nebo filigránem (Stloukal a Vyhnálek, 1976). Jedná se především o předměty z velkomoravských dílen. Přítomny jsou také objekty importované z Byzantské (šperky) i Francké říše (meče) (Stloukal a Vyhnálek, 1976). Hroby s chudou výbavou obsahují předměty každodenní potřeby jako nádoby, přesleny, korálky, nože, pazourky a čepele. Případně hrobová výbava zcela chybí (Poláček, 2008a). S příchodem křesťanství se však mění pohřební ritus. Hrobová výbava je typická pro pohanské tradice. Oproti tomu v souladu s křesťanskými tradicemi jsou mrtví pohřbíváni bez milodarů (Poulík, 1975). V průběhu 9. století n. l. je v hrobech patrný úbytek až úplná absence hrobové výbavy i na původně bohatých pohřebištích (Poláček, 2008a). Hrobová výbava však může chybět i z důvodu vykrádání hrobů (Poulík, 1975). V několika hrobech byly nalezeny předměty související s křesťanstvím. Jsou to kříže, závěsek ve tvaru bohoslužební knížky, či nákončí pásu a další předměty zdobené křesťanskou tematikou (Poulík, 1962, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976).

Vyvozování sociálního postavení pohřbených na základě hrobové výbavy je tedy třeba brát s rezervou. Jde o komplexní problematiku ovlivněnou kulturou, náboženstvím, zvyky i obdobím, ze kterého hroby pocházejí (Poláček, 2008a). Dalším ukazatelem postavení je umístění hrobů. Hroby v těsné blízkosti centrálních kostelů na akropoli, či přímo uvnitř těchto kostelů, pravděpodobně patří velmožům. Možná patřili i přímo členům dynastie Mojžírovců (Poláček, 2008a). Naopak chudé hroby se vyskytují ve větší míře v nejbližším okolí předměstí v záplavové oblasti. I přes toto hrubé rozlišení jsou bohaté a chudé hroby v určité míře rozprostřeny po celém areálu mikulčického hradiště i zázemí (Poláček, 2008a).

2.4 Strava

2.4.1 Archeologický záznam

Obyvatelé mikulčického hradiště byli závislí na produkci zemědělských osad rozsáhlého zázemí, protože šlo o sídlo neagrárního charakteru. Jeho obyvatelé se věnovali především řemeslné činnosti (Poulík, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976).

Archeobotanický výzkum ukázal, že mezi pěstované obiloviny patřilo žito (*Secale cereale*), pšenice (*Triticum aestivum*), ječmen (*Hordeum vulgare*) a proso (*Panicum miliaceum*). Mezi nejčastěji pěstované obiloviny patřila pšenice a proso. Nálezy naznačují, že v malém množství byly konzumovány i zrna planých druhů obilovin. Dalšími pěstovanými plodinami byly okurky a hroznové víno. Pěstovanými ovocnými stromy byly jabloně, broskvoně a švestky. Z luštěnin byly prokázány hrách, bob a čočka. Pěstován byl také len, konopí a vlčí mák. Obyvatelé hradiště sbírali i divoké plody ostružiníku, maliníku, lísky, dřínu, třešně ptačí, šípků, hlohu a bezu černého (Poulík, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976; Beranová, 2005; Hladík, 2014).

V podhradí a hlavně na přilehlých osídleních byl chován dobytek a drůbež. V největší míře prase domácí (*Sus scrofa f. domestica*) a tur domácí (*Bos primigenius f. taurus*). Chováni byli i koza domácí (*Capra aegagrus hircus*), ovce domácí (*Ovis aries*), kůň domácí (*Equus caballus*), pes domácí (*Canis lupus f. familiaris*), kur domácí (*Gallus gallus f. domestica*) a husa domácí (*Anser anser domesticus*). Z volně žijících druhů byli nejčastěji loveni prase divoké (*Sus scrofa*), jelen evropský (*Cervus elaphus*) a zajíc polní (*Lepus europaeus*) (Hladík, 2014).

V sídlišti na Štěpnici bylo nalezeno velké množství zvířecích kostí. Nejvíce bylo kostí prasat a skotu. Méně časté byly nálezy kostí ovcí, koz, psů, jelenů a srnců. Nejméně bylo kostí koňských. Koně patrně nebyli chováni pro maso, ale pro jezdecké účely. Nálezy nasvědčují tomu, že na Štěpnici sídlila jezdecká vojenská družina. Velké množství zvířecích kostí ukazuje na větší konzumaci masa. Šlo pravděpodobně o příslušníky společensky vyšší vrstvy (Poulík, 1975).

Důležitý byl také rybolov. V záznamu výrazně dominují kosti kapra domácího (*Cyprinus carpio*) (Stloukal a Vyhnálek, 1976; Zawada, 2003; Hladík, 2014). Další čtenějšími druhy byli sumec velký (*Silurus glanis*) a štika obecná (*Esox lucius*). Sporadicky nalezenými druhy jsou plotice obecná (*Rutilus rutilus*), lín obecný (*Tinca tinca*), jelec proudník (*Leuciscus leuciscus*), jelec tloušť (*Leuciscus cephalus*), jelec jesen (*Leuciscus idus*), candát obecný (*Sander lucioperca*), okoun říční (*Perca fluviatilis*), karas obecný (*Carassius*

carassius) perlín ostrobřichý (*Scardinius erythrophthalmus*) a cejn velký (*Abramis brama*). Nebyly nalezeny žádné pozůstatky mořských ani anadromních druhů (Zawada, 2003).

Obyvatelé mikulčického hradiště, v porovnání s obyvateli v zázemí, jedli stravu bohatou na maso (Poulík, 1975). Jiný zdroj však uvádí, že vyšší společenské vrstvy se na počátcích svého formování nelišily množstvím konzumovaného masa. Rozdíl byl ve výběru druhu masa a v jeho sofistikovanější přípravě (Beranová, 2005).

2.4.2 Izotopové metody

Zbytky stravy nejsou v archeologickém záznamu příliš běžné a z jejich nálezů není možno zjistit, v jakém množství byla daná strava konzumována. Pro analýzu zastoupení jednotlivých složek potravy jsou vhodnější izotopové metody, konkrétně analýza množství stabilních izotopů uhlíku (C) a dusíku (N) (Lee-Thorp et al., 1989). Kombinace C a N umožňuje poměrně detailní rekonstrukci stravy (Kaupová et al., 2019). Jejich množství je zjišťováno v kolagenu a apatitu kostí i zubů (Lee-Thorp et al., 1989; Ambrose, 1993). Dalším zdrojem informací mohou být inkrustace nalezených na střepech keramického nádobí (Ambrose, 1993).

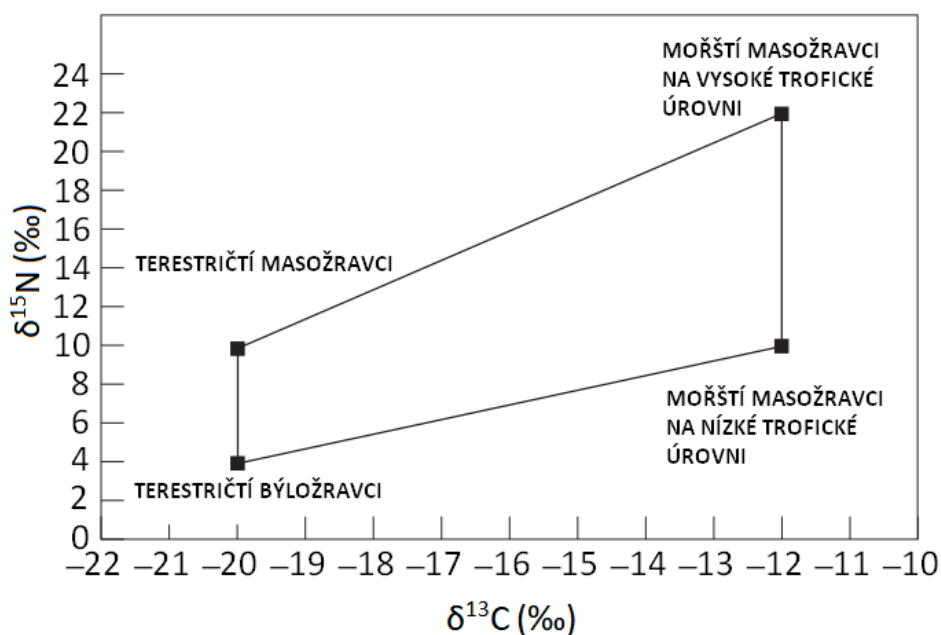
Izotopové složení kostního kolagenu odpovídá průměrnému složení proteinů, které jedinec konzumoval v posledních letech života (Ambrose, 1993; Richards a Hedges, 1999). Délka období, o kterém můžeme získat informaci, se u jednotlivých jedinců liší v závislosti na pohlaví, stravování, fyzické aktivitě i věku jedinců (Martin a Armelagos, 1985; Hedges a Reynard, 2007; Kaupová et al., 2018).

Stabilní izotopy uhlíku jsou používány k odlišení konzumace C3 a C4 rostlin. Živočichové konzumující C4 rostliny vykazují vyšší koncentrace ^{13}C (Van der Merwe, 1982; Lee-Thorp et al., 1989; Ambrose, 1993). Další využití spočívá k odlišení proteinů pocházejících z mořských ekosystémů a z pevniny. Konzumace mořských živočichů zvyšuje koncentraci ^{13}C oproti konzumaci suchozemských živočichů (Schoeninger et al., 1983; Schoeller et al., 1986; Richards a Hedges, 1999; Barrett et al., 2001; Hedges a Reynard, 2007). V potravním řetězci dochází také ke kumulaci ^{13}C směrem vzhůru (Bocherens a Drucker, 2003). Vliv na koncentraci ^{13}C má i zdravotní stav, především závažná dlouhotrvající onemocnění (Salesse et al., 2019).

Stabilní izotopy dusíku se používají k určení míry konzumace živočišných a rostlinných proteinů. Hodnoty stabilního izotopu dusíku ^{15}N rostou s pozicí v potravním řetězci. Obecně vyšší hodnoty vykazují mořské organismy, neboť mořské potravní řetězce jsou typicky delší než terestrické. Pokud lidé konzumují mořské živočichy, jejich hodnoty

^{15}N budou ještě vyšší než při konzumaci proteinů terestrických živočichů (Schoeninger et al., 1983; Richards a Hedges, 1999; Hedges a Reynard, 2007). Efekt delších potravních řetězců a vyšších hodnot ^{15}N existuje i u sladkovodních potravních řetězců. U lidí se však z tohoto důvodu zvyšuje hodnota ^{15}N až při časté konzumaci sladkovodních živočichů (Hedges a Reynard, 2007). Obohacení kostního kolagenu ^{15}N je možné pozorovat i u terestrických predátorů (Bocherens a Drucker, 2003). Hodnoty ^{15}N mají také u některých druhů tendenci dosahovat vyšších hodnot v teplém a suchém prostředí (Ambrose, 1993).

Pro správné pochopení analýzy potravy pomocí izotopových metod je důležitá správná interpretace výsledků, neboť hodnoty stabilních izotopů C i N jsou ovlivněny lokálními podmínkami. Zastoupení izotopů v konkrétním potravním řetězci se může významně odlišovat od globálních průměrných hodnot vlivem lokálních faktorů prostředí. Proto je vždy třeba porovnat výsledné hodnoty z lidské tkáně s hodnotami zdrojů potravy pocházejících ze stejného potravního řetězce, tedy s lokálními zdroji (Ambrose, 1993). Pro zjištění zastoupení jednotlivých složek potravy je také ideální kombinace výsledků analýzy stabilních izotopů C i N (Richards a Hedges, 1999).



Obrázek 4: Kombinace analýzy stabilních izotopů uhlíku a dusíku ukazuje 4 teoretické extrémní možnosti lidského stravování. Hodnoty odpovídají vzorkům kostního kolagenu (Richards a Hedges, 1999).

Izotopové metody už byly použity na značnou část materiálu nalezeného na mikulčickém hradišti (akropole, Kostelisko a okolí VI kostelu v Těšlickém lese) (Obr. 3), i v jeho zázemí (Josefov, Prušánky I). Analyzovány byly také zvířecí nálezy (Smrčka et al., 2008; Kaupová et al., 2014, 2018; Halffman a Velemínský, 2015; Kaupová, 2017).

U zvířecích vzorků kostí vynikají skot, drůbež a psi. Mají zvýšené hodnoty ^{13}C , což poukazuje na konzumaci prosa (C4 rostlina). Hodnoty ^{13}C i ^{15}N u drůbeže a psů zároveň poukazují na jejich vyšší trofickou pozici oproti ostatním domácím zvířatům (Kaupová, 2017; Kaupová et al., 2018). Psi a drůbež jsou chováni v bezprostřední blízkosti lidí. Jejich strava běžně obsahuje zbytky lidské potravy, odpad nebo exkrementy. Jejich potrava se proto svým složením odlišuje od stravy ostatních domácích zvířat a více se podobá stravě lidské (Guiry, 2013). Skot, ovce/kozy, prasata, ale i volně žijící zvířata vykazují jednoznačně hodnoty běžné pro ekosystém založený na C3 rostlinách. Na základě hodnot prasat se dá předpokládat, že byla ještě pasena na volno a nikoliv chována v chlévcích a krmena zbytky lidské stravy (Kaupová, 2017; Kaupová et al., 2018). Vzorky ryb jsou běžně velmi variabilní a velkomoravský vzorek není výjimkou. Naprostá většina jejich vzorků je také statisticky významně odlišná od vzorků suchozemských zvířat. Konzumace ryb by tedy měla být u lidské populace rozpoznatelná (Kaupová, 2017).

Hodnoty izotopů ^{13}C a ^{15}N ukazují, že strava obyvatel mikulčického hradiště byla založená na terestrických zdrojích a zahrnovala rostlinné i živočišné zdroje proteinů s významným podílem C4 rostlin (proso) (Halffman a Velemínský, 2015; Kaupová et al., 2018; Jílková et al., 2019). Při porovnání hodnot ^{13}C mezi lidmi a domestikovanými zvířaty je patrné, že lidé konzumovali přímo proso a nikoliv živočišné produkty domestikovaných zvířat krmených prosem (Kaupová, 2017). U lidí jsou zdokumentovány vyšší hodnoty ^{15}N než u býložravců. Z toho vyplývá, že lidé konzumovali živočišné produkty (Smrčka et al., 2008; Halffman a Velemínský, 2015). Kombinace izotopů ^{13}C a ^{15}N vypovídají, že živočišné proteiny pocházely z terestrických ekosystémů. Ryby tedy nebyly významnou součástí stravy (Kaupová, 2017).

Obyvatelé hradu vykazují významnou konzumaci živočišných proteinů a vysokou variabilitu v hodnotách ^{15}N (Kaupová et al., 2018). V pozadí této variability může stát častá konzumace živočišných zdrojů s nižšími hodnotami ^{15}N (vejce a drůbež), oproti zdrojům s vyššími hodnotami (jehněčí a telecí) zvýšenými příjmem mateřského mléka (Hedges a Reynard, 2007; Kaupová et al., 2018).

Analýza zastoupení složek potravy ukazuje, že objem živočišných terestrických proteinů ve stravě dosahuje u jedinců z Kosteliska přes jednu třetinu všech proteinů. (Hedges a Reynard, 2007; Halffman a Velemínský, 2015). Tyto analýzy jsou značně závislé na použité metodě (Hedges a Reynard, 2007). Výsledný odhad složení potravy jedinců z Kosteliska je spíše konzervativní a předpokládá nižší hodnoty ^{15}N (Halffman a Velemínský, 2015).

Hodnoty ^{13}C v kolagenu ukazují, že hlavním zdrojem rostlinné potravy byly C_3 rostliny (především pšenice). V případě jedinců z hrobů s bohatou výbavou byly hlavním zdrojem C_4 rostliny (proso). Analýza zastoupení složek potravy u jedinců Kosteliska ukazuje, že u nich proso přispívalo k 13 % až 30 % objemu konzumovaných proteinů (Halffman a Velemínský, 2015). Proso bylo oblíbenou plodinou starých Slovanů (Beranová, 2005; Kaupová et al., 2019). Zároveň výzkum stravy z pohřebiště v okolí VI. kostela v Těšlickém lese poukazuje na vyšší podíl konzumovaných C_4 rostlin (prosa) u dětí než u dospělých ze všech společenských vrstev. Výsledky ze stejné lokality také ukazují pouze minimální rozdíl mezi jedinci s bohatou hrobovou výbavou a ostatními jedinci v hodnotách ^{13}C (Jílková et al., 2019). Výsledky i samotná interpretace hodnot ^{13}C a konzumace C_4 rostlin však záleží na konkrétní publikaci (Bigoni et al., 2013; Kaupová et al., 2018; Jílková et al., 2019).

U mužů pohřbených v hrobech s bohatou hrobovou výbavou je signifikantní obohacení ^{15}N oproti mužům s chudou hrobovou výbavou. Hodnoty ^{15}N mužů s bohatou výbavou převyšují hodnoty ^{15}N žen s bohatou výbavou. Muži měli obecně homogennější stravu než ženy (Kaupová, 2017; Kaupová et al., 2018). Na rozdíly ve stravování může poukazovat i odlišná prevalence zubních kazů. U žen se vyskytují častěji (Stránská et al., 2008). Menší množství živočišných proteinů konzumovali také děti (Jílková et al., 2019).

Tato odlišnost u žen bývá vysvětlována jejich odlišným postavením ve společnosti (Kjellström et al., 2009; Reitsema a Vercellotti, 2012). Odlišné postavení pohlaví podporují i další studie zabývající se mikulčickým hradištěm a jeho zázemím (Havelková et al., 2011; Bigoni et al., 2013). S tím souvisí i odlišná mobilita pohlaví. Postavení jedinců místních a pocházejících odjinud se často odlišovalo (Baskin, 2008; Kjellström et al., 2009; Bigoni et al., 2013; Groves et al., 2013; Feci et al., 2016). V případě Mikulčic může být vysvětlením patrilokalita a patrilinearita vyšších vrstev. V takové situaci muži zůstávají v místě původu, zatímco ženy se přesouvají. Mikulčické ženy s vyšším postavením tedy nemusely být místní (Kaupová et al., 2018). To podporuje i výzkum entezopatií. Ukazuje, že ženy z hradu vykonávaly podobně náročné činnosti jako ženy z podhradí. Ženy z hradu se netěšily takovým privilegiím jako jejich mužské protějšky (Havelková et al., 2011, 2013).

Strava obyvatel zázemí (Josefov) se vyznačuje nižší konzumací živočišných proteinů. Patrný byl také rozdíl mezi pohlavími. Strava mužů byla homogennější s vysokými hodnotami ^{15}N a nižšími hodnotami ^{13}C . Strava žen ze zázemí vykazovala nižší hodnoty ^{15}N a vyšší hodnoty ^{13}C (Kaupová, 2017; Kaupová et al., 2018).

Při rozdělení hrobů Kosteliska na základě hrobové výbavy podle Stloukala a Vyhnálka (1970) je patrná vyšší koncentrace ^{13}C u jedinců pocházejících z bohatých hrobů (Stloukal

a Vyhnálek, 1970). To poukazuje na fakt, že nobilita upřednostňovala konzumaci prosa (C4 rostlina). Na Kostelisku se mezi pohlavími výsledky analýzy izotopů C a N neliší (Smrčka et al., 2008).

2.5 Morfologie dolní čelisti

Morfologie dolní čelisti je výsledkem komplexního působení vnějších i vnitřních vlivů. Nejdůležitějšími z nich jsou funkce, populační historie a geografická příslušnost s klimatem. Poslední dvě spolu úzce souvisejí (Nicholson a Harvati, 2006). Odlišení vlivu těchto jednotlivých faktorů může být značně komplikované, neboť na morfologii dolní čelisti působí společně (Lavelle, 1972). Globální zmenšení rozměrů dolní čelisti bývá připisováno jak dlouhodobému procesu gracilizace celého skeletu (Lavelle, 1972), tak redukci obličejového skeletu (Menegaz et al., 2010).

2.5.1 Vliv žvýkání

Podle teorie funkční matrix odpovídá architektura lebky její funkci. Funkční matrix formující morfologii jsou veškeré měkké tkáně (svaly, orgány) a dutiny. Pevné tkáně (kosti, vazivo) funkční matrix dodávají biomechanickou podporu (Moss, 1997). Růst kostí je na této stimulaci přímo závislý (Varrela, 1990a). Přitom mezi strukturálními prvky a jejich funkcí existuje velmi úzký vztah a jakýkoliv zásah do něj se projevuje morfologickými změnami (Mcnamara, 1980). V případě dolní čelisti je takovým velmi významným faktorem žvýkání. Dlouhodobá variace ve žvýkání během postnatálního období ovlivňuje morfologickou plasticitu (Menegaz et al., 2010). Jde tedy o jeden z hlavních environmentálních stimulů variability dolní čelisti i celého kraniofaciálního skeletu. V závislosti na tuhosti přijímané potravy jsou odlišným způsobem zatěžovány žvýkací svaly i oblasti jejich úponů (Paschetta et al., 2010).

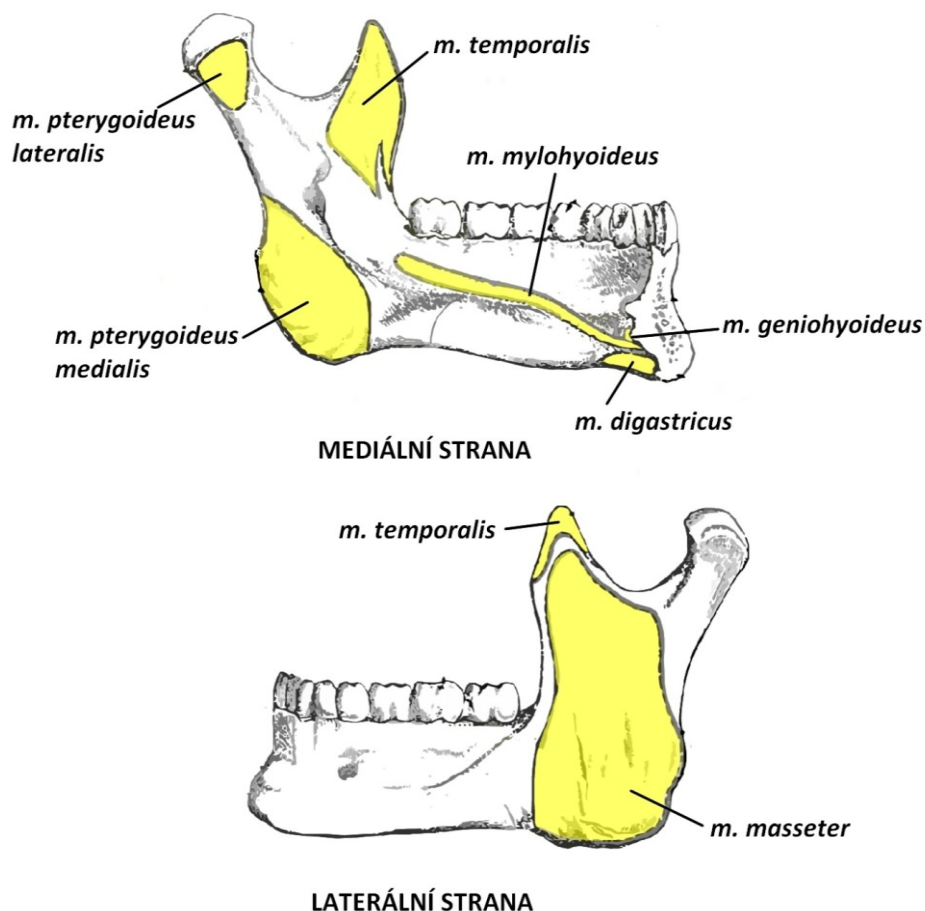
Možnosti zpracování potravy prodělaly během kulturní evoluce značné změny. V současnosti lidé konzumují stravu výrazně měkčí než kdykoliv v minulosti. Důsledkem je odlišná mechanika žvýkání a nižší namáhání žvýkacích svalů i jejich úponů (Kaifu, 1997; Wrangham a Conklin-Brittain, 2003; Lieberman et al., 2004; Pearson a Lieberman, 2004; Rando et al., 2014). Proměny dietních návyků jsou součástí balíčku subsistence dnešní moderní společnosti, která se vyznačuje značnou homogenitou prostředí. Právě proto jsou napříč současnými populacemi menší rozdíly v působení vnějších vlivů i žvýkání. Vyšší homogenita prostředí zvyšuje význam genetických faktorů (Corruccini et al., 1983; Spronsen et al., 1991). Větší rozdíly mezi populacemi je tedy možné očekávat při srovnávání minulých

populací. I přesto má vliv stresu ze žvýkání zásadní vliv na morfologii dolní čelisti současných populací (Paschetta et al., 2010).

Svaly, které se podílejí na žvýkání a tedy i formování dolní čelisti jsou tyto: *musculus temporalis*, *musculus masseter*, *musculus pterygoideus medialis* a *musculus pterygoideus lateralis* (Weijs a Hillen, 1986; White et al., 2012). *Musculus temporalis*, *musculus masseter* a *musculus pterygoideus medialis* zajišťují elevaci dolní čelisti, *musculus pterygoideus lateralis* zajišťuje depresi dolní čelisti. Retrakci dolní čelisti zajišťuje *musculus temporalis*, protrakci *musculus masseter*. *Musculus temporalis* se upíná na *processus coronoideus*. *Pars superficialis musculus masseter* se upíná na úhel a *tuberositas masseterica*, *pars profunda musculus masseter* se upíná na střed vnější plochy ramen (*tuberositas masseterica*). *Musculus pterygoideus medialis* se upíná na vnitřní plochu úhlu (*tuberositas pterygoide*), *musculus pterygoideus lateralis* se upíná na *fovea pterygoidea processus condylaris* (Obr. 5) (Hylander, 2006; White et al., 2012). Další svaly, které se podílejí na žvýkání, jsou některé nadjazykové svaly. Konkrétně jde o *musculus mylohyoideus*, *musculus geniohyoideus* a *musculus digastricus*. *Musculus mylohyoideus* se na dolní čelist upíná na *linea mylohyoidea*, *musculus geniohyoideus* na *spina mentalis* a *musculus digastricus* na *fossa digastrica* (Obr. 5). Všechny tři se podílejí na depresi dolní čelisti (Hylander, 2006).

Nižší stres způsobený žvýkáním se podílí na celkové redukci dolní čelisti (Carlson a Gerven, 1979; Kaifu, 1997; Wrangham a Conklin-Brittain, 2003). Největší množství stresu způsobeného žvýkáním nesou kvůli umístění úponů žvýkacích svalů ramena dolní čelisti. (Lavelle, 1972; Kaifu, 1997; Paschetta et al., 2010). Konkrétně jde o oblasti úhlu a *processus coronoideus* (Kaifu, 1997; Paschetta et al., 2010). S nižším stresem způsobeným žvýkáním je asociované také zmenšení *processus condylaris* (Corruccini a Handler, 1980; Varrela, 1992). Vyšší stres ze žvýkání analogicky způsobuje vyšší robusticitu dolní čelisti (Hylander, 1977; Pearson a Lieberman, 2004; Rando et al., 2014). Tento stres stimuluje vertikální růst ramen dolní čelisti. Výsledkem je zmenšení úhlu dolní čelisti (Varrela, 1990a; b, 1992; Kiliaridis, 1995). Patrný je také robustnější a větší *processus coronoideus* (Carlson a Van Gerven, 1977; Hylander, 1977; Larsen, 1995; Sardi et al., 2006). Oblast, která vlivům žvýkání nepodléhá, je symfýza. Délka dolní čelisti se také nemění (Horowitz et al., 1960; Kaifu, 1997).

Pro sledování vlivu žvýkání na morfologii dolní čelisti je příhodné porovnávat populace s různým životním stylem, protože elementy skeletu související s mastikací vykazují největší rozdíl při přechodu z jedné subsistence na jinou (Carlson, 1976; Sardi et al., 2006). Tento fakt ukazuje, že morfologie dolní čelisti je ovlivněna vnějším prostředím, kam patří i strava (Carlson a Van Gerven, 1977; Kaifu, 1997).



Obrázek 5: Místa úponů podílejících se na žvýkání jsou zobrazena žlutou barvou. Žvýkácí svaly jsou *musculus masseter*, *musculus temporalis*, *musculus pterygoideus medialis* a *musculus pterygoideus lateralis*. Na žvýkání se částečně podílí i *musculus mylohyoideus*, *musculus geniohyoideus* a *musculus digastricus* (Weijs a Hillen, 1986; White et al., 2012) (upraveno podle Atilla, 2019).

Například změna ze subsistence lovců a sběračů k sedentárnímu způsobu života je asociována s konzumací měkčí stravy (Sardi et al., 2006) a sníženou zátěží žvýkacích svalů. Někdy je zmiňována i snížená kvalita potravy ve smyslu vyššího zastoupení sacharidů a nižšího zastoupení proteinů (Cohen a Armelagos, 2013). Lovci a sběrači mají mohutně rozvinutý žvýkácí aparát (Carlson, 1976). Morfologicky je přechod k zemědělství asociován s relativně rychlou redukcí žvýkacího aparátu a celé dolní čelisti (Carlson a Van Gerven, 1977; Kaifu, 1997). Zmenšení dolní čelisti a gracilizace svalových úponů je patrná i s příchodem průmyslové revoluce (Kaifu, 1997). U britské populace je po průmyslové revoluci dokonce pozorováno snížení výšky těla dolní čelisti (Lavelle, 1972). V porovnání s minulými populacemi mají dolní čelisti moderních populací menší velikost, větší úhel a relativně posteriorněji rotovaná ramena (Kaifu, 1997; Rando et al., 2014). Hlavní tendencí

při přechodu na komplexnější subsistenci je zmenšení dolní čelisti, zvětšení úhlu a redukce oblastí úponů žvýkacích svalů (Lavelle, 1972; Kaifu, 1997).

2.5.2 Kontext a interakce se zbytkem lebky

Stres ze žvýkání se významným způsobem podílel na evoluci lebky jako celku (Dahlberg, 1965) a významně ovlivňuje růst především kraniofaciálního skeletu (Varrela, 1992). Variace stresu způsobeného žvýkáním je spojená s proměnnou tvrdých kostěných elementů. Vyšším stresem jsou ovlivněny především struktury žvýkacího aparátu, ať svými většími rozměry, mohutnějšími proporcemi kloubů, vyšším množstvím kortikální kosti nebo zvýšenou mineralizací tvrdých tkání. Dopad stresu ze žvýkání se ale projevuje i v oblastech, které s touto funkcí přímo nesouvisí (Menegaz et al., 2010). Ovlivněna je komplexně obličejová část i celá lebka (Menegaz et al., 2010; Rando et al., 2014).

Naopak nižší zátěž má za následek menší velikosti zubů, inferiorněji orientovaný obličej nebo kulatější tvar mozkovny. (Carlson a Van Gerven, 1977; Carlson a Gerven, 1979). Hlavním mechanismem působení je globální alternace v růstu celého maxilo-mandibulárního komplexu. Především střední a spodní obličej při nedostatečné zátěži dosahuje relativně menších rozměrů a je uložen inferiorněji. Kompenzační odpovědí je zakulacenější klenba mozkovny a ostřejší úhel lebeční báze (Carlson a Gerven, 1979). Obličej je celkově menší (Lieberman et al., 2004).

Srovnání jedinců s velkou a malou silou skusu, vycházející z rozvoje jejich žvýkacích svalů, vykazuje morfologický rozdíl napříč celým obličejem. U jedinců se silným skusem je na dolní čelisti oproti druhé skupině patrný vyšší zadní obličej (ramena dolní čelisti), menší sklon dolní čelisti a okluzní linie paralelnější vzhledem ke spodní hranici mandibuly. U této skupiny je větší šířka mandibuly. Navíc morfologie jedinců s velkou silou skusu vykazuje menší interindividuální variabilitu. (Ingervall a Helkimo, 1978).

2.5.3 Pohlavní dimorfismus

Je důležité uvědomit si, že odhad pohlaví je velmi populačně specifický. Dokonce i v dobře vymezených geografických regionech a historických periodách mohou vzorce sexuálního dimorfismu značně variovat (Kemkes a Göbel, 2006). Vlastnosti mužského a ženského skeletu existují na kontinuální, spojitě škále (Loth a Henneberg, 1996). Pro odhad pohlaví se nejčastěji používá pánev. Ta umožňuje odhad pohlaví s přesností až 95 %. Lebka je až druhou možností volby, přesnost odhadu pohlaví se u ní udává až 90 % (Loth a Henneberg, 1996; İşcan a Steyn, 2013; Álvarez Villanueva et al., 2017). S nižší přesností se však dá odhadnout pohlaví i z dalších oblastí kostry, tedy i z dolní čelisti (Hunter a Garn,

1972; Buikstra a Ubelaker, 1994; Rosas a Bastir, 2002; Walker, 2008; Álvarez Villanueva et al., 2017). Přesnost takových odhadů se však nevyrovná kompletní páňvi (Loth a Henneberg, 1996).

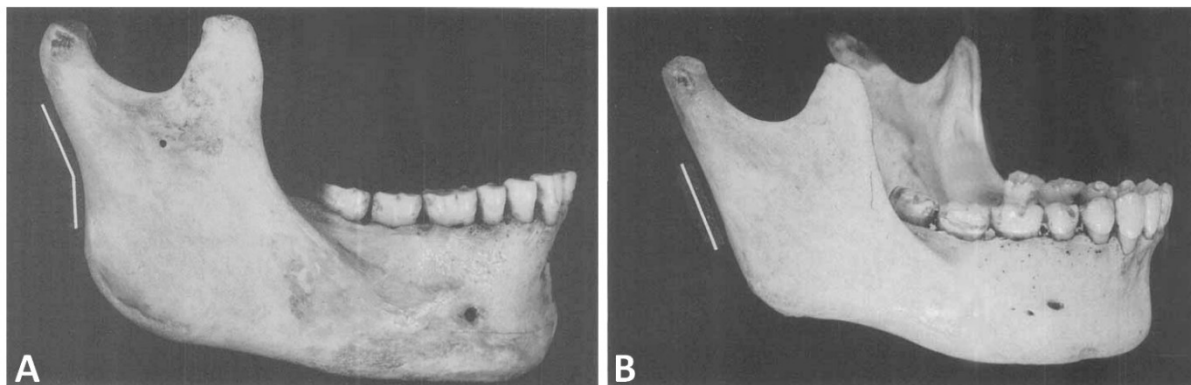
Základním rozdílem je velikost (Rosas et al., 2002; Saini et al., 2011; Velemínská et al., 2012; Bejdová et al., 2013; İşcan a Steyn, 2013). Rozměry dolní čelisti jsou u mužů větší než u žen (Rosas et al., 2002; Saini et al., 2011; İşcan a Steyn, 2013). Velikost však není příliš vhodný znak. Pro odhad jsou vhodné morfologické znaky, které odrážejí pohlavně geneticky podmíněný růst (Loth a Henneberg, 1996).

Mezi regiony s pohlavním dimorfismem jsou udávány především oblast symfýzy a ramena (de Villiers, 1968; Hunter a Garn, 1972; Saini et al., 2011; İşcan a Steyn, 2013). Na ramenou je umístěna většina svalových úponů. U mužů jsou místa úponů obecně drsnější než u žen. To ukazuje na mohutněji rozvinutou muskulaturu u mužů (Rosas et al., 2002; Saini et al., 2011; Velemínská et al., 2012; İşcan a Steyn, 2013). U mužů jsou větší také *processus condylaris* a *processus coronoideus* (Bejdová et al., 2013). Kromě velikosti jsou *processus condylaris* u mužů umístěné anteriorněji (Rosas a Bastir, 2002) a mediálněji než u žen (Bejdová et al., 2013).

Se svaly souvisí také everze bodů *gonion*. Upínají se na ně *musculus masseter* a *musculus pterygoideus lateralis*. U mužů jsou evertované a drsnější. Může za to opět mohutnější rozvoj svalstva (Kemkes-Grottenthaler et al., 2002; White et al., 2012; İşcan a Steyn, 2013). U žen jsou úhly dolní čelisti gracilnější a nejsou evertované. Stejnou morfologii jako ženy mají i nedospělí jedinci (White et al., 2012). Everze bodů *gonion* byla navrhována jako vhodný parametr pro odhad pohlaví (İşcan a Steyn, 2013). Detailnější výzkumy však ukazují, že nejde o dostatečně spolehlivý znak (Kemkes-Grottenthaler et al., 2002; Oettlé et al., 2009; İşcan a Steyn, 2013). Kromě everze jsou u mužů body *gonion* také umístěny anteriorněji (Rosas a Bastir, 2002; Bejdová et al., 2013) a laterálněji než u žen. To ukazuje na relativně širší mužské dolní čelisti (Bejdová et al., 2013). Na mužských dolních čelistech je také zřetelnější preangulární zářez (Rosas a Bastir, 2002).

Růst dolní čelisti u mužů typicky pokračuje ještě v postpubertálním období až do třetí dekády života. Delší období růstu se projevuje především větší délkou ramen (Hunter a Garn, 1972; Walker a Kowalski, 1972; Loth a Henneberg, 1996). S delším růstem souvisí i zakřivení posteriorní linie ramen ve výšce okluzní linie. U žen je průběh přímý, u mužů je linie konkávně prohnutá (Obr. 6). Toto prohnutí na mužských čelistech vzniká až v postpubertálním věku a dříve není patrné (Loth a Henneberg, 1996). Tento znak však není

dostatečně spolehlivý pro odhad pohlaví (Kemkes-Grottenthaler et al., 2002; İşcan a Steyn, 2013).



Obrázek 6: Zakřivení posteriorní linie ramen dolní čelisti: A muž, B žena. U mužů je posteriorní linie konkávně prohnutá (upraveno podle Loth a Henneberg, 1996).

Znakem dobře odlišujícím pohlaví je bradový výběžek (*protuberantia mentalis*). Buikstra a Ubelaker (1994) jej na pětistupňové škále použili jako jeden z pěti znaků na lebce pro určení pohlaví (Buikstra a Ubelaker, 1994). Jedná se přitom o dodnes používanou metodu. U mužů je bradový výběžek výraznější (Buikstra a Ubelaker, 1994; Rosas a Bastir, 2002; Walker, 2008). Avšak celá linie symfýzy u mužů méně prominuje. Ženská linie symfýzy prominuje více superiorně a anteriorně a přechází v zaoblenější bradu (İşcan a Kennedy, 1989; Rosas a Bastir, 2002).

Williams a Rogers (2006) zmiňují jako vhodný znak pro určení pohlaví úhel dolní čelisti (*angulus mandibulae*) (Williams a Rogers, 2006). Úhel, který svírají ramena s tělem dolní čelisti, je u žen tupější. U mužů je úhel ostřejší (Rosas a Bastir, 2002; Williams a Rogers, 2006; Franklin et al., 2008). Další práce však ukazují, že se na odhad pohlaví nehodí. Rozpětí tohoto znaku, která jsou typická pro obě pohlaví, se překrývají (Oettlé et al., 2009; İşcan a Steyn, 2013). Interpretaci komplikuje, že úhel se proměňuje se ztrátou stoliček. Důležitá je distribuce ztracených zubů. Úhel dolní čelisti je ostřejší, pokud jsou přítomny všechny stoličky nebo je jejich ztráta rovnoměrná. Při nerovnoměrné ztrátě stoliček je úhel dolní čelisti tupější (Oettlé et al., 2009).

Pohlavní dimorfismus je také podmíněný výživou (DiGangi a Moore, 2013). Nedostatečnou výživou je zasažen především rozvoj mužských sekundárních pohlavních znaků. Tito muži mají méně rozvinuté svaly. Místa úponů žvýkacích svalů nejsou tak namáhána (Weaver, 2000; DiGangi a Moore, 2013). Proto je morfologie špatně živěných mužů podobnější ženám. Dolní čelist je zasažena i proto, že u mužů roste až do 3. dekády života (Hunter a Garn, 1972; Walker a Kowalski, 1972; Loth a Henneberg, 1996). U žen při

nedostatečné výživě dochází ke zvýraznění ženských. Tyto změny ovlivňují i přesnost odhad pohlaví (Suazo et al., 2008).

3 Cíle a hypotézy

Tato diplomová práce si klade za cíl prozkoumat morfologii dolní čelisti raně středověké populace Slovanů z Velkomoravské říše pomocí metod geometrické morfometrie s ohledem na demografickou strukturu této populace. Diplomová práce se zabývá touto populací v socioekonomickém kontextu komplexní společnosti a manifestace odlišné životní úrovně na dolní čelist. Práce volně navazuje na diplomovou práci Vojtěcha Riegera Pohlavní dimorfismus a morfologie lebky s ohledem na sociální strukturu velkomoravského pohřebiště Mikulčice. Má diplomová práce se navíc zabývá i jedinci ze zemědělského zázemí.

Mikulčické hradiště bylo významným centrem Velkomoravské říše. Jednalo se o opevněné osídlení neagrárního charakteru a pravděpodobně správní centrum celé říše. Na samotné mohutně opevněné hradiště navazovalo podhradí a v širokém okolí zemědělské zázemí, které zásobovalo centrum potravinami (Havlík, 1978; Poláček, 2008a). Archeologické i historické záznamy vypovídají o jeho silně rozvrstvené společnosti s odlišným postavením jedinců od privilegiovaných vládnoucích vrstev až po nemajetné, s kterými bylo zacházeno jako s majetkem (Poulík, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976; Poláček, 2008a; Kaupová, 2017; Kaupová et al., 2018).

Odrazem společenského postavení je hrobová výbava (Dostál, 1966; Poulík, 1975; Poláček, 2008a). Situaci však komplikuje postupná christianizace velkomoravské populace. S šířením křesťanství postupně mizí pohanské tradice, například pohřbívání s hrobovou výbavou (Poulík, 1975; Poláček, 2008a). Alternativním přístupem k rozdělení populace je sledování lokality hrobu. Umístění přímo na hradišti je spojováno s elitami. Umístění hrobu v podhradí nebo v zázemí poukazuje na jedince s nižším socioekonomickým statutem (Poláček, 2008a).

Mezi těmito skupinami obyvatel je předpokládán rozdíl v konzumované stravě. Odlišná zátěž žvýkacího aparátu se projevuje na morfologii dolní čelisti. Manifestace těchto vlivů se může lišit v závislosti na pohlaví. Ženy z hradu se netěšily takové míře privilegií jako jejich mužské protějšky (Havelková et al., 2011, 2013). Dalším faktorem je odlišná mobilita pohlaví. Předchozí výzkumy naznačují, že některé mikulčické ženy nebyly místní. Především ženy s vyšším postavením tak nejspíš pocházely z jiných populací než zbytek obyvatel (Kaupová et al., 2018).

Cíle práce:

1. Sledování morfologie dolní čelisti v závislosti na hrobové výbavě.
2. Sledování morfologie dolní čelisti v závislosti na lokalitě hrobu.
3. Sledování morfologie dolní čelisti v závislosti na pohlaví.

Hypotézy:

1. Socioekonomický status má vliv na morfologii dolní čelisti, především jejích ramen.
2. Nejvíce budou ovlivněna místa úponů žvýkacích svalů.
3. Lokalita hrobů je v případě dolní čelisti přesnějším ukazatelem socioekonomického postavení než hrobová výbava.

4 Materiál

Materiálem této diplomové práce jsou dolní čelisti raně středověké velkomoravské populace Slovanů, kteří byli pohřbeni během 9. a 10. století. Jedinci pocházejí z mikulčického hradiště a jeho zemědělského zázemí. Přímo z hradiště Mikulčice pochází 91 jedinců. V zemědělském zázemí je to 12 jedinců z Čejče, 7 jedinců z Josefova, 4 jedinci z Nechvalína a 18 jedinců z Prušánek. Celkem se jedná o 59 mužů a 73 žen. Materiál z lokalit Čejč, Mikulčice, Josefov a Prušánky je uložen v Národním muzeu v Praze, materiál z lokality Nechvalín v Moravském zemském muzeu v Brně.

Tabulka 1: Zastoupení jedinců z jednotlivých lokalit.

pohlaví	Čejč	Josefov	Mikulčice	Nechvalín	Prušánky	celkem
muži	8	3	40	2	6	59
ženy	4	4	51	2	12	73
celkem	12	7	91	4	18	132

Tabulka 2: Počet jedinců podle přítomnosti hrobové výbavy.

pohlaví	bohatá	chudá	celkem
muži	15	58	73
ženy	8	51	59
celkem	23	109	132

Tabulka 3: Počet jedinců podle lokality umístění hrobu

pohlaví	hrad	podhradí	zázemí	celkem
muži	35	16	22	73
ženy	22	18	19	59
celkem	57	34	41	132

Jedinci byli vybíráni na základě několika podmínek. Dolní čelist musela být dobře zachovaná bez patologických změn, deformací a atrofií. Další podmínka se zakládala na dentici. Vybraní jedinci nesměli mít premortální ztrátu více zubů vedle sebe a museli mít přítomné druhé stoličky. I přesto, že dentice v práci není hodnocena, její premortální ztráta ovlivňuje morfologii dolní čelisti.

Vybrání byli dospělí jedinci s vyloučením nejstarších věkových skupin (*senilis*). Pro odhad věku byla použita kombinace více různých metod (Ferembach et al., 1979; Lovejoy, 1985; Brooks a Suchey, 1990; Buikstra a Ubelaker, 1994; Buckberry a Chamberlain, 2002; Schmitt et al., 2002).

Odhad pohlaví a věku vychází z předchozích publikací věnujících se Velké Moravě a z interních materiálů Národního muzea (Stloukal, 1963, 1964, 2007; Stloukal a Hanáková, 1967, 1985; Hanáková, 1988; Stránská et al., 2002; Dobisíková et al., 2005; Velemínský et al., 2005; Brůžek a Velemínský, 2006; Klanica, 2006a; b). V případě zemědělského zázemí vychází odhad pohlaví a věku z interních nepublikovaných materiálů Národního muzea.

Studovaná populace byla hodnocena několika přístupy. Prvním bylo rozdělení na základě hrobové výbavy. V hrobech s bohatou výbavou jsou nálezy zlata, stolního náčiní, luxusního textilu, náušnic i záušnic veligrábského typu, gombíků, honosných nákončí opasků, lýtkových kování, mečů, kopí a ostruh. Do stejné kategorie patří i hroby umístěné v interiérech kostelů a hroby, ve kterých byly nalezeny rakve s pásovým kováním. Druhým přístupem je rozdělení na základě lokality hrobu do oblastí hradu (akropole a Štěpnice), podhradí (Kostelisko a Klášterisko) a zázemí (Čejč, Josefov, Nechvalín a Prušánky).

5 Metody

Dolní čelisti byly naskenovány za pomoci výpočetního tomografu Somatom Definition Flash (Siemens) na radiologickém oddělení Nemocnice Na Homolce v Praze. Nastavené parametry skenování byly: vzdálenost řezů 0,75 mm; 0,4 mm kernel kostní tkáň H60 (výpočetní algoritmus pro rekonstrukci kostní tkáně). Naskenované snímky byly uloženy

ve formátu DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*). Tento formát je standardně využíván pro manipulaci s daty získanými výpočetní tomografií (Herrmann et al., 2018).

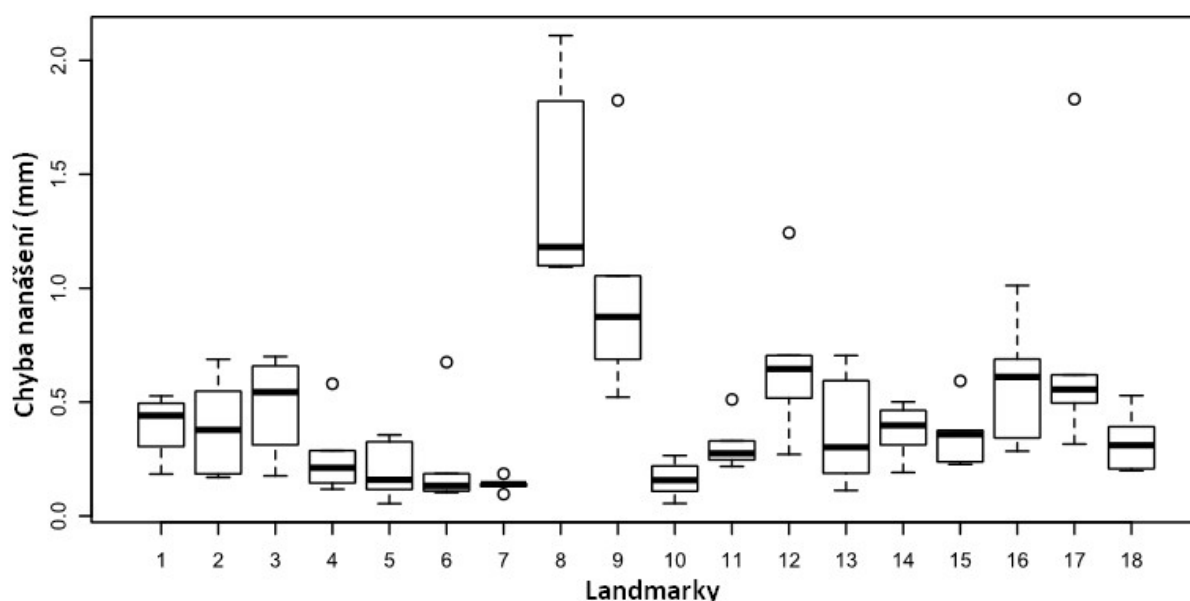
V programu Amira 5.3.3 (Thermo Scientific™) byla z pořízených snímků vizualizovaná kostní tkáň a následně extrahován povrch v podobě trojúhelníkové sítě představující virtuální dolní čelist. Dalším krokem bylo odstranění nehodnocených oblastí v programu Meshlab 2016.12 (Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione). Odstraněny byly všechny části lebky kromě dolní čelisti. Na samotné dolní čelisti byl odstraněn alveolární výběžek (*processus alveolaris*) s denticí. V programu Rapidform (INUS Technology, Inc.) byly zaplněny díry, které vznikly ořezáváním.

Dalším krokem bylo odstranění vnitřních povrchů v programu Morphome3cs II pomocí automatického algoritmu. Okolo dolních čelistí byla zkonstruována virtuální krychle s délkou strany odpovídající stonásobku dvou nejvzdálenějších bodů konkrétní dolní čelisti. Geometrické těžiště dolní čelisti bylo zarovnáno na střed krychle. Na krychli byla definována množina 26 bodů, která zahrnovala 8 vrcholů krychle, 6 středů stěn a 12 středů hran. Vnější povrch dolních čelistí byl zrekonstruován na základě viditelnosti z těchto bodů. Trojúhelníky, které nebyly viditelné z alespoň dvou bodů, byly odstraněny (Musilová et al., 2016).

Následně byl zredukován počet trojúhelníků, ze kterých se skládá každý model dolní čelisti na 100 000 trojúhelníků opět v programu Meshlab 2016.12. Další kroky probíhaly v programu Morphome3cs II. Zde bylo naneseno 18 landmarků (Tab. 4) s průměrnou chybou 0,47 mm (Obr. 7). Na výpočet chyby nanášení byla použita metodika, kterou vyvinul Cramon-Taubadel (Von Cramon-Taubadel et al., 2007). Tyto landmarky byly použity pouze k rigidní registraci. Přesnost jejich nanášení proto není důležitá (Dupej et al., 2014). Chyba nanášení byla minimální. Nejméně přesné bylo nanášení landmarků *ramus anterior* dosahující až 2 mm.

Tabulka 4: Seznam landmarků nanesených na dolní čelisti.

Číslo	Landmark	Definice
1	<i>supramentale</i>	Nejhlubší bod na křivce symfýzy dolní čelisti mezi body <i>intradentale</i> a <i>pogonion</i> .
2	<i>pogonion</i>	Nejvíce anteriorní bod na <i>protuberantia mentalis</i> v linii symfýzy.
3	<i>gnathion</i>	Nejvíce inferiorní bod na linii symfýzy.
4, 5	<i>foramen mentale</i>	Bod uprostřed <i>foramen mentale</i> .
6, 7	<i>lingula mandibulae</i>	Nejvýraznější bod na <i>lingula mandibulae</i> nebo ekvivalentní bod anteriorně od <i>foramen mandibulae</i> .
8, 9	<i>ramus anterior</i>	Bod na přední linii ramene dolní čelisti, kde je rameno nejužší.
10, 11	<i>coronoid</i>	Nejvýraznější bod na <i>processus coronoideus</i> dolní čelisti.
12, 13	<i>incisura mandibulae</i>	Nejvíce inferiorní bod na <i>incisura mandibulae</i> .
14, 15	<i>processus condylaris superior</i>	Nejvíce anteriorní bod na <i>processus condylaris</i> dolní čelisti.
16, 17	<i>gonion</i>	Bod, který leží na úhlu dolní čelisti nejvíce inferiorně a nejvíce laterálně.
18	<i>spina mentalis posterior</i>	Střední bod mezi nejvíce posteriorními body na <i>spina mentalis</i> .



Obrázek 7: Chyba nanášení landmarků zobrazená pomocí krabicového grafu. Průměrná chyba nanášení činí 0,47 mm. Číslování landmarků odpovídá tabulce landmarků (Tab. 4).

Další zpracování a analýzy byly provedeny v programu Morphome3cs II. Nejprve bylo provedeno zarovnání modelů na sebe a vynucení jejich homologie. Homologie je zajištěna díky metodě CPD-DCA (*Coherent Point Drift-Dense Correspondence Analysis*). V jejím rámci byla na modely aplikována generalizovaná Prokrustova analýza (GPA). Ta na sebe rigidně zarovnala modely dolních čelisti podle 18 nanesených landmarků. Teprve tehdy

byl spuštěn algoritmus CPD-DCA, který nerigidní registrací kompenzoval deformaci mezi studovanými trojúhelníkovými sítěmi modelů a sítí základního templátu. Během tohoto procesu byl proveden dopočet chybějících vrcholů modelů dolních čelistí podle zvoleného templátu. Podle tohoto zvoleného templátu byly identifikovány chybějící vrcholy trojúhelníkové sítě. V těchto oblastech pak byla trojúhelníková síť deformována odpovídajícím dopočtem povrchu. Po registraci byly rozpoznány homologické vrcholy v trojúhelníkové síti na základě blízkosti bodů. Body, ke kterým nebyly identifikovány korespondující varianty, byly ze sítě vyřazeny. Tímto přístupem bylo dosaženo povrchů s homologickou topologií. Na závěr byla opět provedena GPA korespondujících bodů trojúhelníkové sítě (Dupej et al., 2014, 2015; Musilová et al., 2016). Po provedení je možné barevně vizualizovat rozdíly mezi pozorovanými skupinami. Barevnou škálou jsou zobrazeny rozdíly průměrných jedinců porovnávaných skupin od templátu (Dupej et al., 2014; Hoffmannová et al., 2016, 2018).

5.1 Statistické analýzy

5.1.1 Dvouvýběrový t-test

Tento test se používá pro porovnávání středních hodnot dvou nezávislých výběrů. Předpokladem pro tento test je normální rozdělení obou výběrů. Pro ověření normality byl použit Shapirův-Wilkův test normality. Dvouvýběrový t-test je v diplomové práci použit pro srovnání průměrných modelů dolních čelistí vždy právě dvou skupin obyvatel. Dvouvýběrový t-test ověřuje nulovou hypotézu, že střední hodnoty obou nezávislých výběrů se neliší. Tento test byl použit na všechny povrchové body trojúhelníkové sítě modelů dolních čelistí (per vertex). Díky tomu je možné vizualizovat s jakou mírou signifikance se konkrétní povrchové body trojúhelníkové sítě modelů liší při srovnání dvou skupin obyvatel (Pezzullo, 2013; Zvára a Štěpán, 2019).

5.1.2 Analýza hlavních komponent (PCA)

Analýza hlavních komponent (PCA = *Principal Component Analysis*) je jednou z metod redukce dimenzionality dat. PCA nahrazuje původní soubor proměnných novými proměnnými, hlavními komponentami. Hlavní komponenty jsou na sebe nezávislé, tedy ortogonální. První hlavní komponenta zachycuje lineární závislost s největším rozptylem. Každá další komponenta popisuje největší rozptyl nezávisle na komponentě předchozí. Variabilita dat je rozdělena do množství dílčích lineárních příspěvků (Hotelling, 1933; Haruštiaková et al., 2012). Ke grafickému zobrazení se používají konfidenční elipsy

v bodovém grafu. Obvykle se zobrazují první 2 hlavní komponenty. Elipsy znázorňují oblast, ve které pravděpodobně leží jedinec z dané skupiny. Pro grafické znázornění příspěvku jednotlivých hlavních komponent k celkové variabilitě se používá sutinový graf (*scree plot*). Tento graf zobrazuje kritérium *broken stick*. Hlavní komponenty nad tímto kritériem jsou relevantní a mají dopad na morfologii (Haruštiaková et al., 2012)

5.1.3 MANOVA (*Multivariate analysis of variance*)

Tato statistická metoda je používána pro analýzu závislosti dvou a více náhodných veličin na hodnotě znaku vymezujícího hodnocené skupiny. Jde o rozšíření klasické analýzy rozptylu (ANOVA = *Analysis of Variance*) pro několik náhodných veličin. Podmínkami pro použití je normální rozdělení a shodný rozptyl ve všech skupinách. Pro hodnocení normálního rozdělení byl opět použit Shapirův-Wilkův test normality na hladině významnosti 0,05. MANOVA ověřuje nulovou hypotézu, že všechny skupiny mají stejné rozptyly hodnot náhodné veličiny (Smith et al., 1962).

5.1.4 Metoda podpůrných vektorů (SVM)

Metodou podpůrných vektorů (SVM = *Support vector machines*) je metoda strojového učení používanou pro klasifikaci. Metoda funguje na základě rozdělení dat do dvou kategorií pomocí lineárního klasifikátoru. Dvě skupiny od sebe odděluje nadrovina tak, aby v jejím okolí bylo co nejméně krajních hodnot tedy podpůrných vektorů (*support vectors*) z obou skupin. Nadrovina prochází co nejširším pásmem necitlivosti (*maximal margin*), kde nejsou přítomny žádné hodnoty. Metoda zároveň aplikuje proces jádrové transformace (*kernel transformation*), kdy dochází k transformaci původně nelineárního prostoru a jeho linearizaci ve vyšší dimenzi. Nakonec je použita křížová validace (*cross validation*). Část souboru je vynechána z modelování a později je na ní model testován. Výsledkem je procento správně klasifikovaných dat (Vapnik, 1998). Pokud se skupiny překrývají, může docházet k vychýlení ve prospěch jedné skupiny. Dochází k falešně pozitivním i falešně negativním zařazením jedinců (Cortes a Vapnik, 1995; Franklin et al., 2012, 2013). To je možné kvantifikovat pomocí ROC křivky (*Receiver Operating Characteristic*). Na ose x je četnost falešně negativních zařazení a na ose y četnost opravdových pozitivních zařazení (Green a Swets, 1966; Zvárová, 2011). Hodnota plochy pod grafem (*Area under curve* = AUC) ukazuje rozlišovací schopnost testu. Hodnota 0,5 (50 %) ukazuje na test bez rozlišovací schopnosti, který není lepší než náhoda. Hodnota 1 (100 %) ukazuje na perfektní rozlišovací schopnosti (Hoo et al., 2017).

6 Výsledky

Výsledky jsou rozděleny do několika částí. První část hodnotí analýzu hlavních komponent (PCA). Předloženy jsou příspěvky jednotlivých hlavních komponent k celkové variabilitě. Skupiny porovnané v předchozí části jsou zde srovnány v rámci prvních dvou hlavních komponent PC1 a PC2. Prezentovány jsou i výsledky testování signifikance pomocí metody MANOVA na adekvátním počtu hlavních komponent.

Druhá část mezi sebou porovnává jedince v závislosti na pohlaví, hrobové výbavě a lokalitě hrobů. K tomu jsou použity vizualizace barevných map na modely průměrných dolních čelistí. Barevná škála na modelech odpovídá průměrné vzdálenosti v daném místě modelu mezi průměrnými hodnotami srovnávaných skupin. Červená barva značí oblasti, které se nachází u první z porovnávaných skupin nad povrchem modelu. Tyto oblasti jsou pro danou skupinu větší, výraznější, více prominují. Modrá barva značí oblasti, které se nachází u druhé z porovnávaných skupin nad povrchem modelu. Tyto oblasti jsou pro danou skupinu větší, výraznější, více prominují.

Zobrazeny jsou modely, které hodnotí tvar a formu. Tvar zanedbává velikost. Jeho hodnoty jsou proto pouze relativní a bezrozměrné. Forma je hodnocena v milimetrech. Dalším výstupem jsou mapy signifikance. Jedná se o modely, na jejichž povrch jsou barevnou škálou zobrazeny p-hodnoty per vertex t-testu.

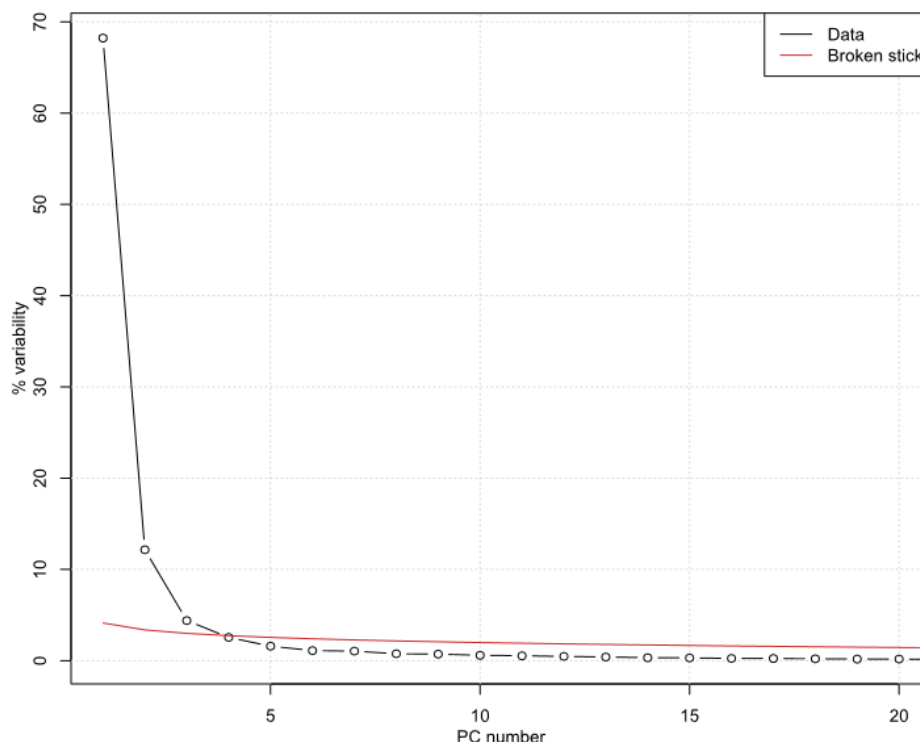
V poslední části jsou představeny výsledky SVM. Srovnány jsou kategorie pohlaví, hrobová výbava, lokalita hrobů a jejich kombinace za účelem vyhodnocení překryvu variability u jednotlivých skupin obyvatel.

6.1 Vyhodnocení morfologie dolní čelisti analýzou hlavních komponent (PCA)

Tato kapitola se věnuje výsledkům analýzy hlavních komponent. Touto metodou byly analyzovány forma i tvar. Výsledkem je procentuální příspěvek jednotlivých hlavních komponent k celkové variabilitě. Vliv hlavních komponent na morfologii je popsán pro první dvě komponenty s nejvyšším procentuálním příspěvkem k celkové variabilitě. Dále jsou prezentovány konfidenční elipsy vztahu prvních dvou hlavních komponent pro vizualizaci variability porovnávaných skupin. Na adekvátním počtu hlavních komponent (ty které leží nad kritériem *broken stick*) byla provedena MANOVA za účelem zjištění závislosti skóre hlavních komponent na hodnocených skupinách.

6.1.1 Forma

První byla provedena analýza formy. Forma je kombinací tvaru a velikosti. V tomto případě jsou relevantní pouze první 3 hlavní komponenty, které leží nad kritériem *broken stick* (Obr. 8). Příspěvek prvních 3 hlavních komponent je zobrazen v tabulce 5. Tyto komponenty dohromady vysvětlují 87,37 % variability.

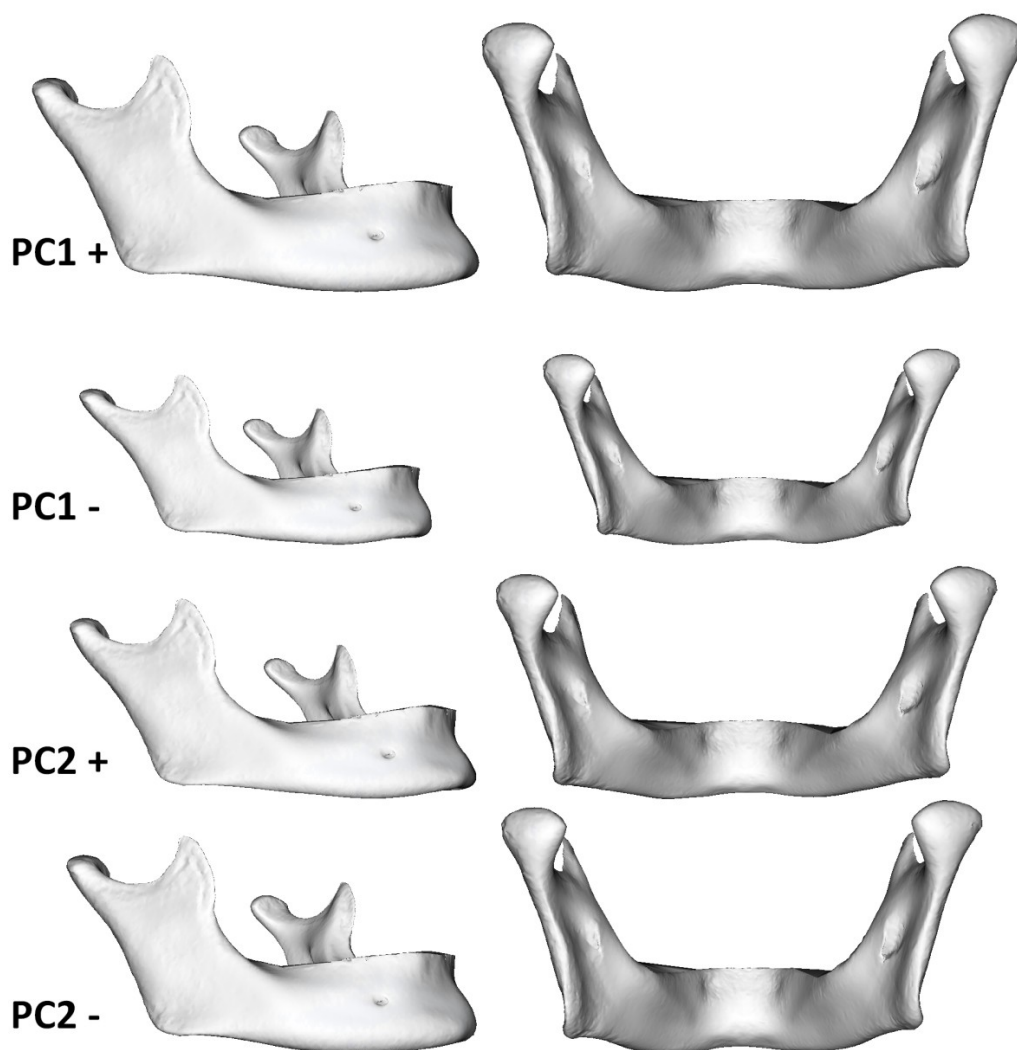


Obrázek 8: Sutinový graf. Relevantní hlavní komponenty jsou umístěné nad kritériem *Broken stick*.

Tabulka 5: Procentuální příspěvek prvních 3 hlavních komponent k celkové variabilitě.

Příspěvek prvních 3 hlavních komponent k celkové variabilitě			
Hlavní komponenta	PC1	PC2	PC3
Variabilita (%)	68,24	12,16	4,41

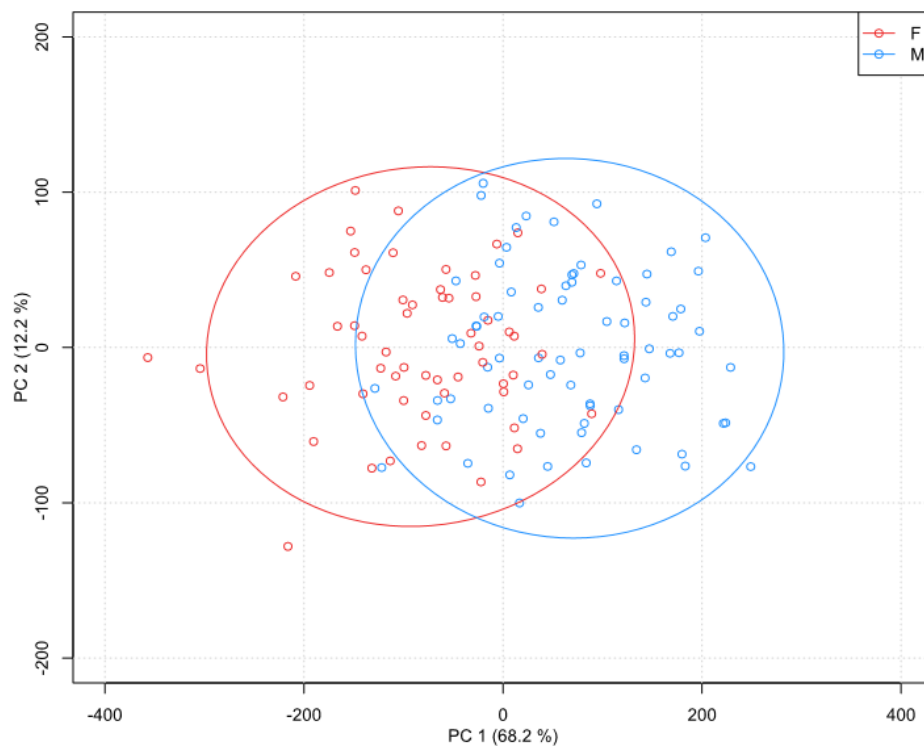
Vizualizace reálného projevu prvních dvou hlavních komponent ukazuje obrázek 9. PC1 vysvětluje 68,24 % celkové variability a odpovídá velikosti. Vysoké hodnoty PC1 (PC1+) odpovídají jedincům s velkými rozměry dolní čelisti, nízké hodnoty (PC1-) odpovídají jedincům s malými rozměry dolní čelisti. PC2 vysvětluje 12,16 % celkové variability. PC2 odpovídá úhlu, který svírají ramena s tělem dolní čelisti a také vzdálenosti úhlů a ramen od sebe. Ramena jedinců s vysokou hodnotou PC2 (PC2+) svírají s tělem dolní čelisti větší úhel. Tito jedinci mají širší rozpětí úhlů a ramen. Ramena jedinců s nízkými hodnotami PC2 (PC2-) svírají s tělem menší úhel. Jejich úhly a ramena jsou blíž u sebe.



Obrázek 9: Vizualizace vlivu prvních dvou hlavních komponent. PC+ odpovídá vysoké hodnotě dané hlavní komponenty, PC- odpovídá nízké hodnotě dané hlavní komponenty. PC1 odpovídá velikosti dolní čelisti, PC2 odpovídá úhlu ramen s tělem dolní čelisti a vzdálenosti úhlů a ramen od sebe.

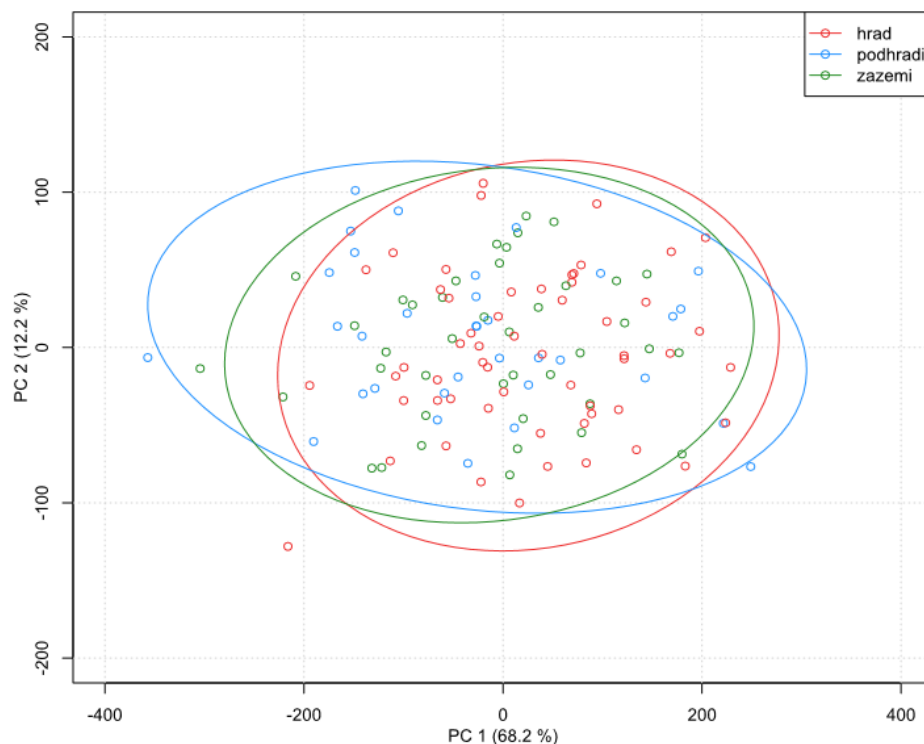
Další část se věnuje konfidenčním elipsám. V bodových grafech jsou na základě hodnot PC1 a PC2 vyneseni jedinci. Pro každou podskupinu je vytvořena konfidenční elipsa vymezující oblast grafu, ve které leží 95 % jedinců.

První graf hodnotí jedince na základě pohlaví. Muži dosahují vyšších hodnot v PC1. V PC2 dosahují muži i ženy stejných hodnot. Mužské dolní čelisti jsou obecně větší a ženské menší. Mezi oběma skupinami ale existuje značný překryv (Obr. 10).



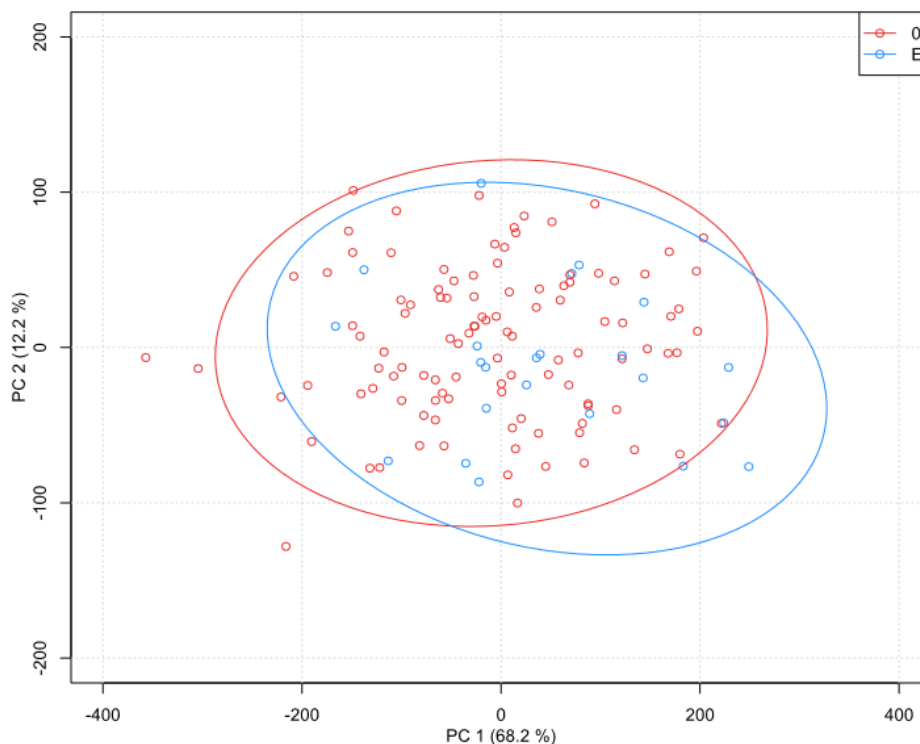
Obrázek 10: Bodový graf zobrazující hodnoty PC1 a PC2 s konfidenčními elipsami. Populace je rozdělena na základě pohlaví. Červená (F) označuje ženy a modrá (M) označuje muže. Na obou osách jsou vyneseny hodnoty hlavních komponent.

Další graf sleduje rozdělení populace na základě lokality hrobů. V rámci PC1 i PC2 dosahují všechny tři skupiny (hrad, podhradí, zázemí) značně podobných hodnot s velkou mírou překryvu (Obr. 11).



Obrázek 11: Bodový graf zobrazující hodnoty PC1 a PC2 s konfidenčními elipsami. Populace je rozdělena na základě lokality hrobu daného jedince. Červená (hrad) odpovídá jedincům z opevněné akropole mikulčického hradiště, modrá (podhradí) odpovídá jedincům z podhradí a zelená (zázemí) odpovídá jedincům ze zemědělského zázemí. Na obou osách jsou vyneseny hodnoty hlavních komponent.

Poslední graf zobrazuje rozdělení populace na základě hrobové výbavy. Opět existuje značný překryv obou elips. Vychýlení jedinců s bohatou hrobovou výbavou směrem k vyšším hodnotám PC1 může být vysvětleno větším zastoupením mužů mezi jedinci s bohatou hrobovou výbavou (Obr. 12).



Obrázek 12: Bodový graf zobrazující hodnoty PC1 a PC2 s konfidenčními elipsami. Populace je rozdělena na základě hrobové výbavy. Červená barva (0) označuje jedince s chudou hrobovou výbavou, modrá (E) jedince s bohatou hrobovou výbavou. Na obou osách jsou vyneseny hodnoty hlavních komponent.

První 3 hlavní komponenty byly dále otestovány metodou MANOVA. Tato metoda je použita pro prokázání signifikantních rozdílů náhodných proměnných v závislosti na třídící kategorii. Hladina významnosti byla stanovena na 0,05. Nulová hypotéza předpokládá, že hodnoty náhodně zvolených proměnných se mezi zvolenými kritérii neliší. Nutným předpokladem pro MANOVA je normální rozdělení. Pro ověření normality byl použit Shapirův-Wilkův test. U všech 3 hlavních komponent bylo prokázáno normální rozdělení (Tab. 6).

Tabulka 6: Shapirův-Wilkův test normality skóre relevantních hlavních komponent.

Hlavní komponenta	PC1	PC2	PC3
p-hodnota	0,6168	0,5396	0,2974

P-hodnoty testů MANOVA na hladině 0,05 pro první 3 hlavní komponenty zobrazuje Tabulka 7. Výsledky ukazují, že nejvyšší míru signifikance má jako klasifikátor pohlaví. Vysoce signifikantní jsou také kombinace klasifikátorů pohlaví + lokalita a pohlaví + hrobová výbava). Pohlavní dimorfismus se tedy liší v rámci jednotlivých skupin obyvatel a je třeba porovnávat muže a ženy zvlášť.

Tabulka 7: P-hodnoty MANOVA.

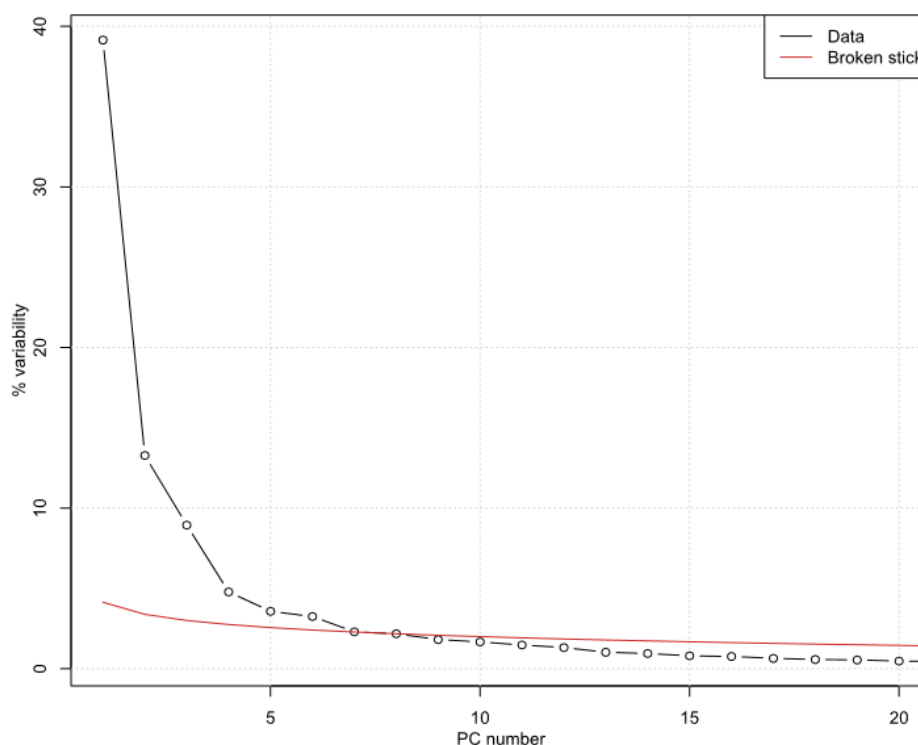
Dělicí kritérium	p-hodnota
pohlaví	<0,0001***
lokalita	0,0343*
hrobová výbava	0,0551
pohlaví + lokalita	<0,0001***
pohlaví + hrobová výbava	<0,0001***

* Statisticky významné na hladině 0,05

*** Statisticky významné na hladině 0,001

6.1.2 Tvar

Tato část se věnuje analýze tvaru. V tomto případě je relevantních prvních 6 hlavních komponent, které leží nad kritériem *broken stick* (Obr. 13). Příspěvek prvních 6 hlavních komponent je zobrazen v tabulce 8. Tyto komponenty dohromady vysvětlují 72,97 % variability.

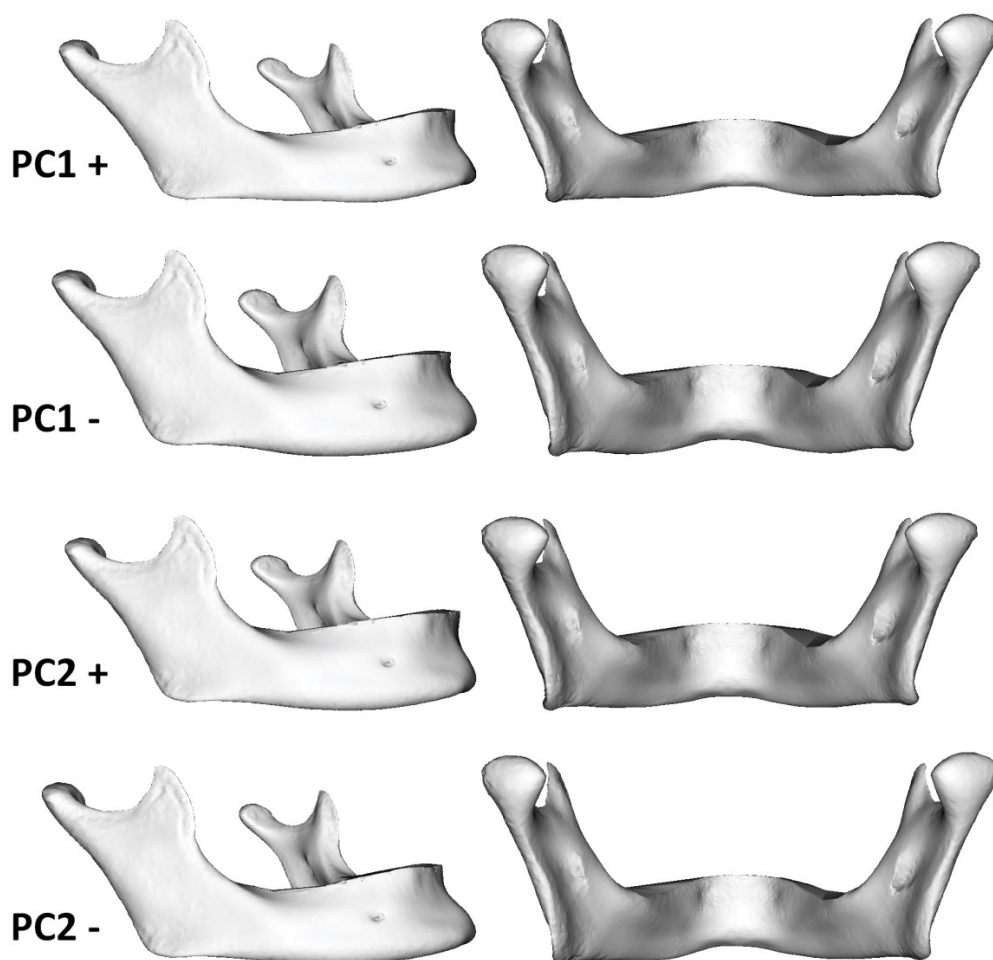


Obrázek 13: Sutinový graf. Relevantní hlavní komponenty jsou umístěné nad kritériem *Broken stick*.

Tabulka 8: Procentuální příspěvek prvních 6 hlavních komponent k celkové variabilitě.

Příspěvek prvních 6 hlavních komponent k celkové variabilitě						
Hlavní komponenta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Variabilita (%)	39,15	13,28	8,94	4,78	3,57	3,25

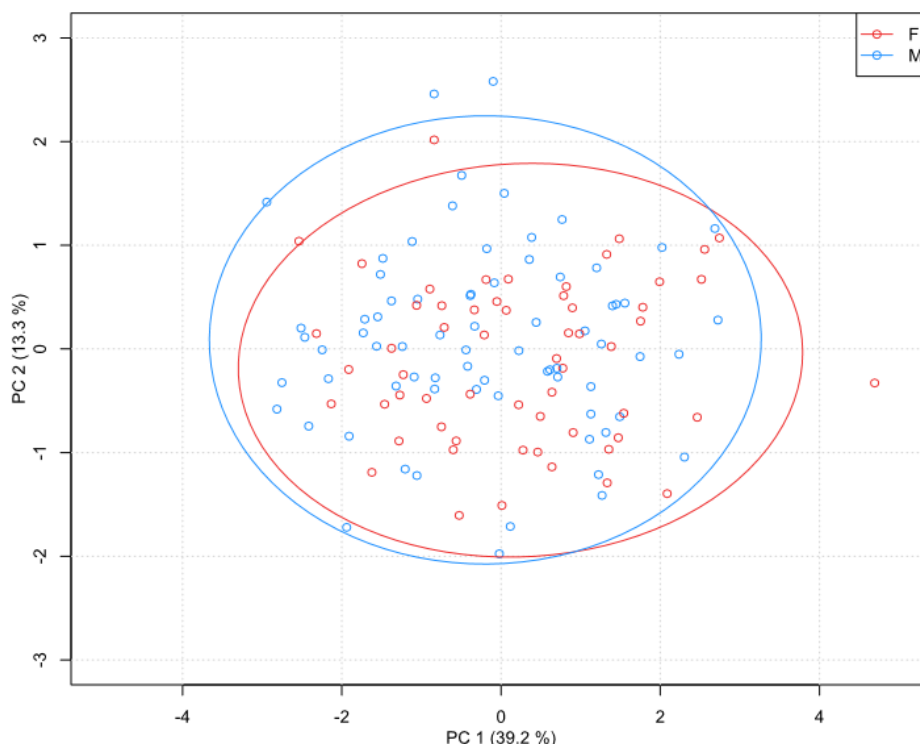
Vizualizace reálného projevu prvních dvou hlavních komponent ukazuje obrázek 14. PC1 vysvětluje 39,15 % celkové variability. Odpovídá za úhel, který svírají ramena s tělem dolní čelisti a vzdálenosti úhlů a ramen od sebe. Vysoké hodnoty PC1 (PC1+) odpovídají jedincům, jejichž ramena svírají s tělem větší úhel. Jejich úhly i ramena mají širší rozpětí. PC2 vysvětluje 13,28 % celkové variability. PC2 odpovídá gracilnějším ramenům protaženým posterosuperiorním směrem, úhel je zachován. PC2 odpovídá i za více prominující *protuberantia mentalis*. Jedinci s vysokými hodnotami PC2 (PC2+) mají robustnější ramena a méně prominující bradu. Celá čelist působí kompaktnějším dojmem. Jedinci s nízkými hodnotami PC2 mají gracilnější, štíhlejší ramena směřující posterosuperiorním směrem a více prominuje *protuberantia mentalis*.



Obrázek 14: Vizualizace vlivu prvních dvou hlavních komponent. PC+ odpovídá vysoké hodnotě dané hlavní komponenty, PC- odpovídá nízké hodnotě dané hlavní komponenty. PC1 odpovídá velikosti dolní čelisti, PC2 odpovídá úhlu ramen s tělem dolní čelisti a vzdálenosti úhlů a ramen od sebe.

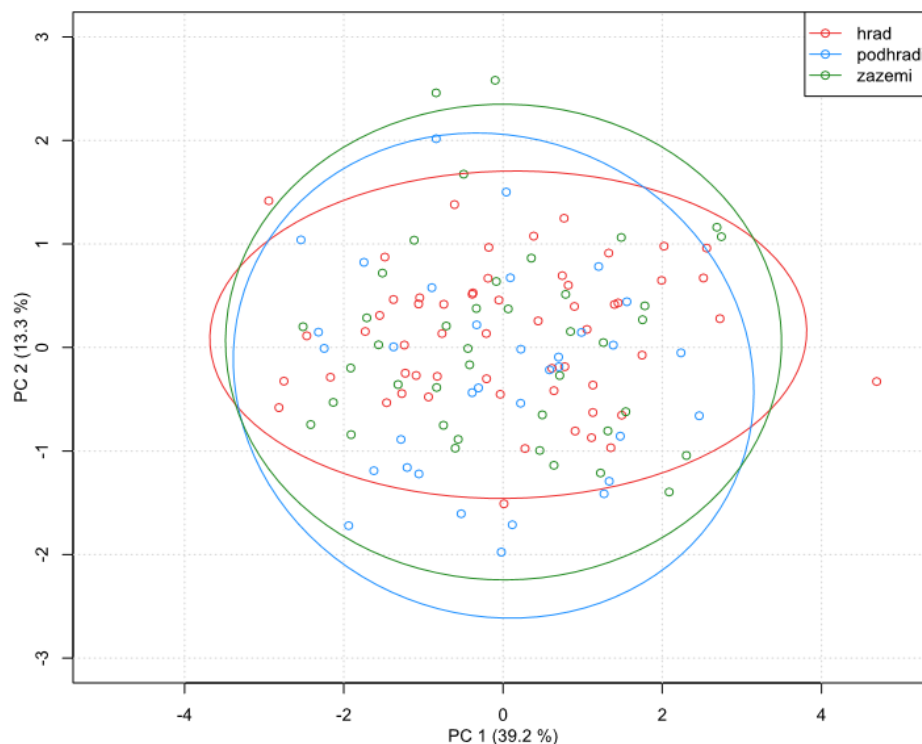
Následující část se věnuje konfidenčním elipsám. V bodových grafech jsou na základě hodnot PC1 a PC2 vyneseni jedinci. Pro každou podskupinu je vytvořena konfidenční elipsa vymezující oblast grafu, ve které se vyskytuje 95 % jedinců.

První graf hodnotí jedince na základě pohlaví. Ženy mají mírně širší interval hodnot pro PC1 v oblasti nejvyšších hodnot a užší pro PC2 v oblasti nejvyšších hodnot. Muži mají mírně užší interval hodnot pro PC1, kdy nedosahují tak vysokých hodnot jako ženy a širší interval pro PC2, kde dosahují vyšších hodnot než ženy. Mezi oběma pohlavími je ovšem značný překryv (Obr. 15).



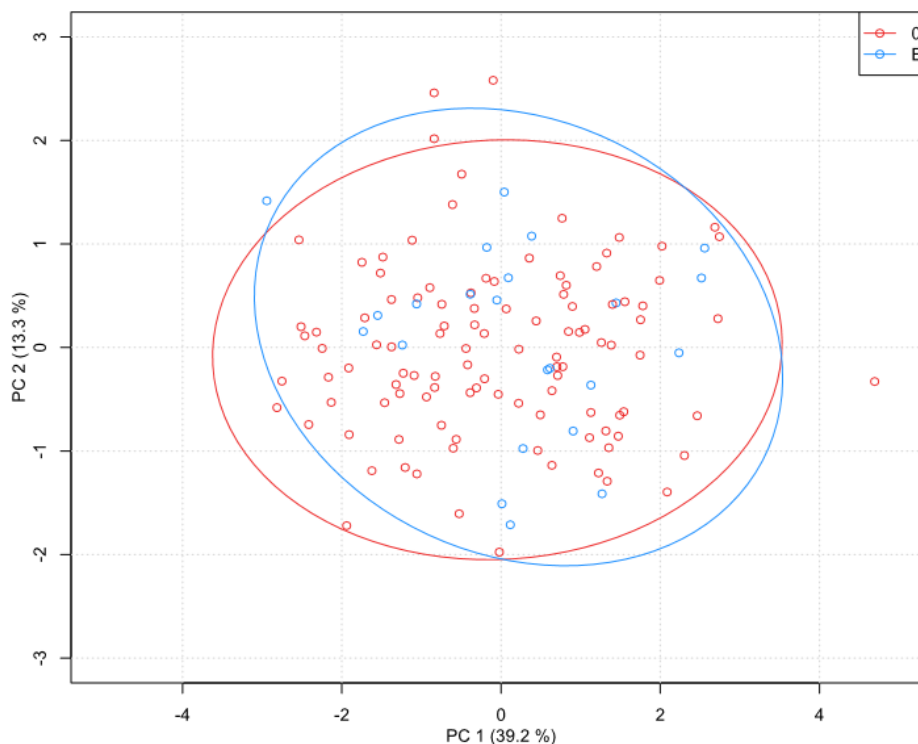
Obrázek 15: Bodový graf zobrazující hodnoty PC1 a PC2 s konfidenčními elipsami. Populace je rozdělena na základě pohlaví. Červená (F) označuje ženy a modrá (M) označuje muže. Na obou osách jsou vyneseny hodnoty hlavních komponent.

Další graf ukazuje rozdělení populace podle lokality hrobů. Všechny tři skupiny (hrad, podhradí, zázemí) mají významný překryv. Konfidenční elipsa pro jedince z hradu obsahuje širší interval hodnot PC1 směrem k minimu i maximu. Pro PC2 je užší kolem středních hodnot. Jedinci z podhradí a zázemí dosahují takřka stejných hodnot pro PC1 i PC2 (Obr. 16).



Obrázek 16: Bodový graf zobrazující hodnoty PC1 a PC2 s konfidenčními elipsami. Populace je rozdělena na základě lokality hrobu daného jedince. Červená (hrad) odpovídá jedincům z opevněné akropole mikulčického hradiště, modrá (podhradí) odpovídá jedincům z podhradí a zelená (zázemí) odpovídá jedincům ze zemědělského zázemí. Na obou osách jsou vyneseny hodnoty hlavních komponent.

Poslední graf sleduje rozdělení populace podle hrobové výbavy. Konfidenční elipsy obou skupin se značně překrývají. Jedinci s chudou hrobovou výbavou pokrývají i nižší hodnoty PC1. Překryv a rozložení jedinců v rámci PC2 je takřka totožný (Obr. 17).



Obrázek 17: Bodový graf zobrazující hodnoty PC1 a PC2 s konfidenčními elipsami. Populace je rozdělena na základě hrobové výbavy. Červená barva (0) označuje jedince s chudou hrobovou výbavou, modrá (E) jedince s bohatou hrobovou výbavou. Na obou osách jsou vyneseny hodnoty hlavních komponent.

Prvních 6 hlavních komponent bylo dále testováno metodou MANOVA. Tato metoda je použita pro prokázání signifikantních rozdílů náhodných proměnných v závislosti na třídící kategorii. Hladina významnosti byla stanovena na 0,05. Nulová hypotéza předpokládá, že hodnoty náhodně zvolených proměnných se mezi zvolenými kritérii neliší. Nutným předpokladem pro MANOVA je normální rozdělení. Pro ověření normality byl použit Shapirův-Wilkův test. U všech 6 hlavních komponent bylo prokázáno normální rozdělení (Tab. 9).

Tabulka 9: Test normality skóre relevantních hlavních komponent.

Hlavní komponenta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
p-hodnota	0,3116	0,6115	0,9227	0,9689	0,1454	0,8902

P-hodnoty testů MANOVA na hladině 0,05 pro prvních 6 hlavních komponent zobrazuje tabulka 10. Všechna dělicí kritéria dosahují signifikantních výsledků. Nejvyšší míru signifikance ukazuje rozdělení podle pohlaví. Vysoce signifikantní jsou také kombinace kritérií pohlaví + lokalita a pohlaví + hrobová výbava. Pohlavní dimorfismus je odlišný u dílčích podskupin mikulčické populace.

Tabulka 10: P-hodnoty MANOVA.

Dělicí kritérium	p-hodnota
pohlaví	<0,0001 ***
lokalita	0,0609
hrobová výbava	0,1205
pohlaví + lokalita	0,0002***
pohlaví + hrobová výbava	0,0007***

*** Statisticky významné na hladině 0,001

6.2 Morfologie dolní čelisti

Výsledky jsou vizualizované složenými obrázky. U jednoduchých porovnání jde o 8 obrázků, kdy řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádku C je barevná škála v mm. U řádků A a C červená barva označuje oblasti výraznější, větší, které více prominují u první z porovnávaných skupin. Modrá barva označuje oblasti výraznější, větší, které více prominují u druhé z porovnávaných skupin. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

Složené obrázky pro dvě porovnání se skládají z 16 obrázků. Oddíl I zobrazuje porovnání dvou skupin mužů, oddíl II zobrazují porovnání dvou skupin žen. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádku C je barevná škála v mm. U řádků A a C označuje červená barva oblasti výraznější u první z porovnávaných skupin. Modrá barva označuje oblasti výraznější u druhé z porovnávaných skupin. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

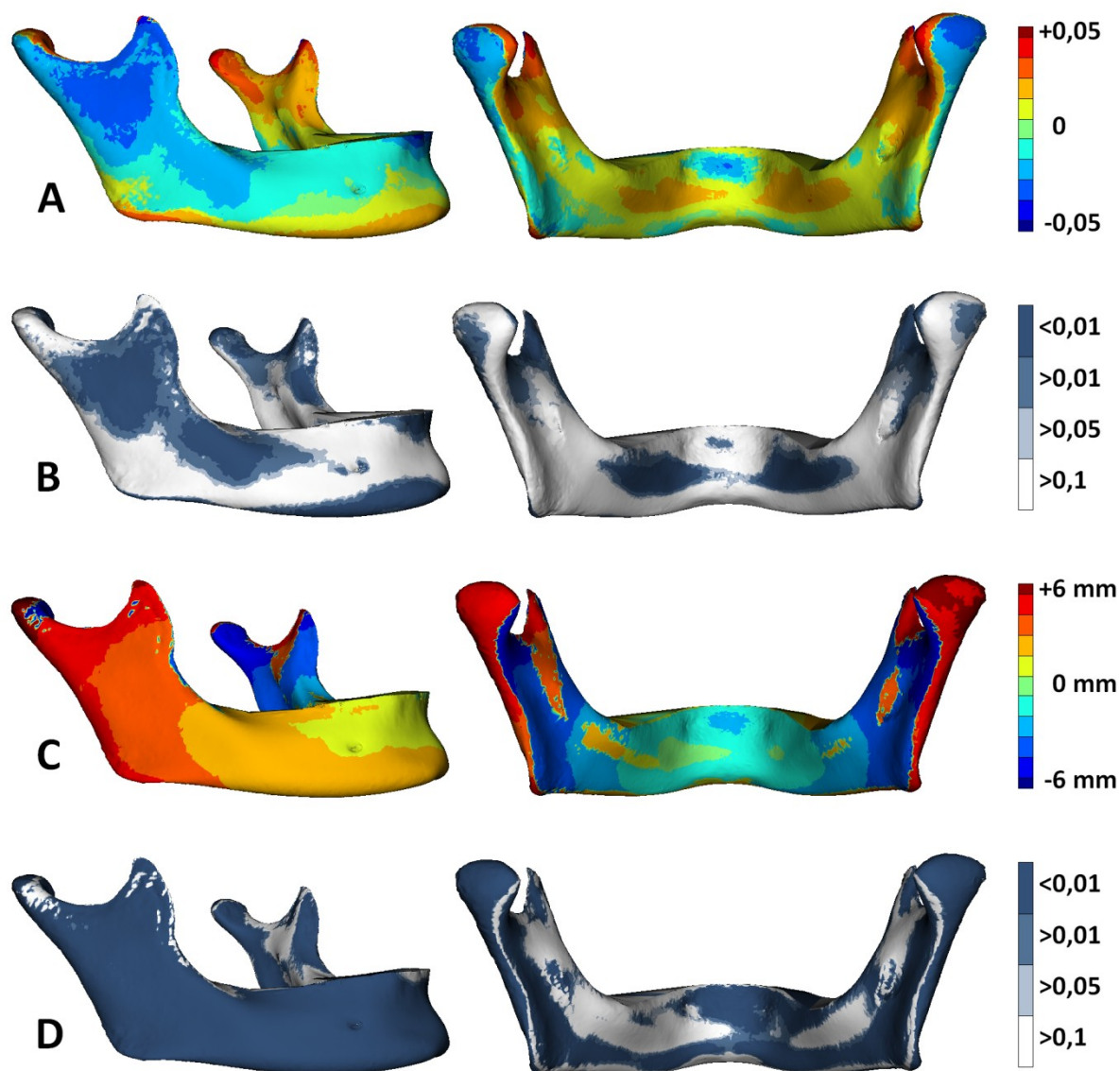
6.2.1 Pohlavní dimorfismus celé populace

Pohlavní dimorfismus byl vyhodnocen na celé populaci (73 mužů a 59 žen) (Obr. 18).

Jako první byl vyhodnocen tvar (Obr. 18, řádky A a B). Červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u mužů, modrá oblastem, které více prominují u žen. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. Intersexuální rozdíly jsou patrné především na ramenech. U mužů více prominují oblast úhlů, mediální strana *processus condylaris* a mediální strana *processus coronoideus*. U mužů méně prominují mediální oblasti ramen navazující na oba výběžky. Oproti tomu u žen více prominují laterální části ramen včetně posteriorní oblasti *processus condylaris*, (Obr. 8A). Statisticky signifikantní je tvar na laterálních ramenech

a celý *processus coronoideus*. Na těle jsou statisticky signifikantní rozdíly anteriorně na *basis mandibulae* a v oblasti kolem *linea mylohyoidea* (Obr. 18B).

Hodnocení formy se značně liší. Barevná škála je uvedena v mm. Červené oblasti jsou u mužů o 6 mm větší než u žen, modré oblasti jsou u mužů o 6 mm menší než u žen. Oblasti větší u mužů jsou laterální strana ramen a úhlů. Dále mediální strana *processus coronoideus*. Méně významný je rozdíl laterálně na úhlech. Patrná je i *linea mylohyoidea*. Muži mají menší oblasti mediálních ramen, úhlů a těla. Z globálního pohledu to ukazuje, že mužské čelisti mají ramena dále od sebe (Obr. 18C). Statisticky signifikantní je forma téměř na celém povrchu. Statisticky signifikantní forma není pouze v oblastech v přední části vnitřních ramen a v okolí *linea mylohyoidea* (Obr. 18D).



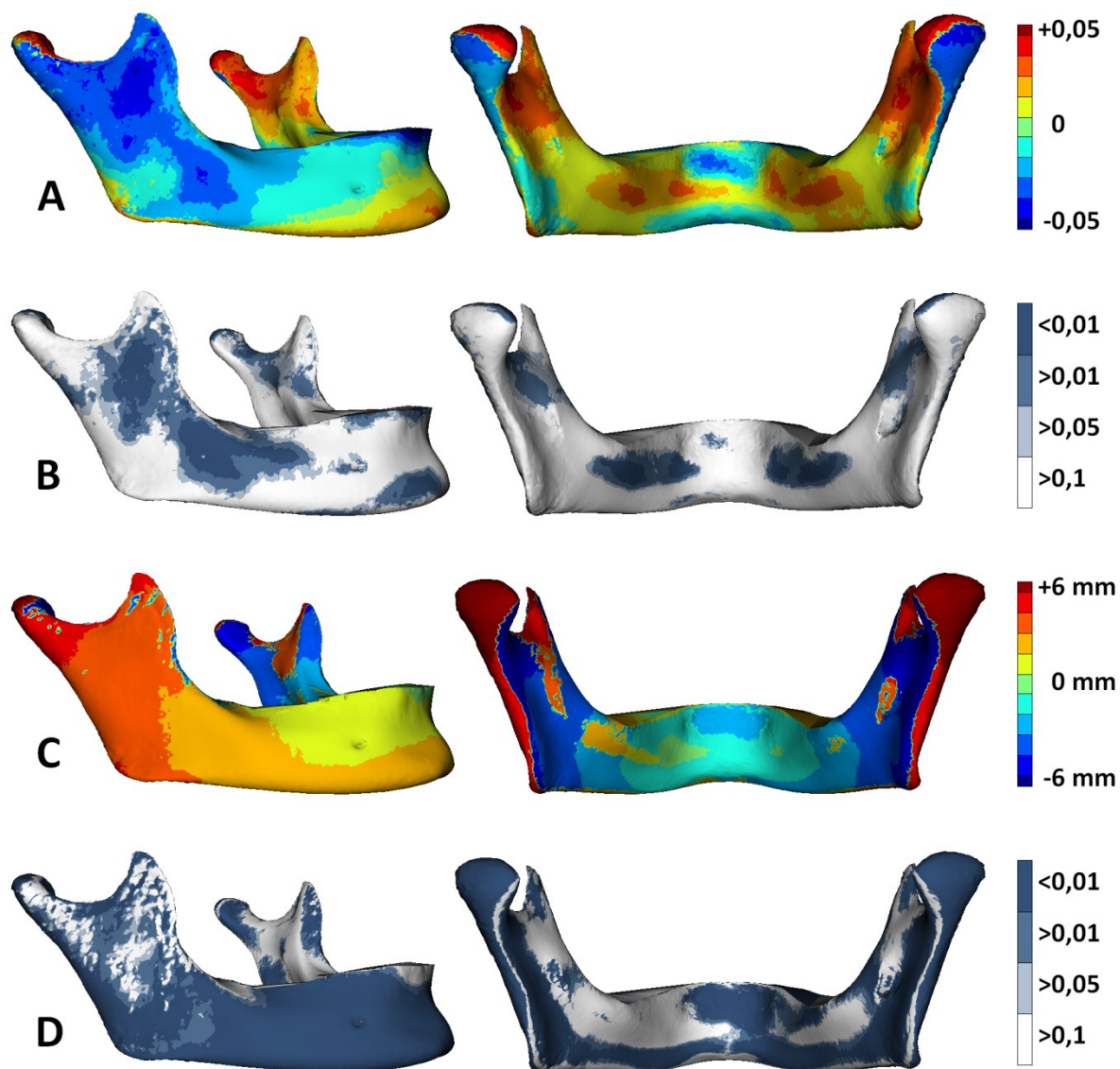
Obrázek 18: Vizualizace pohlavního dimorfismu celé populace. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádku C je barevná škála v mm. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u mužů a modrá barva oblasti, které více prominují u žen. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

Pohlavní dimorfismus jedinců z hradu

Pohlavní dimorfismus skupiny jedinců z hradu byl hodnocen na 35 mužích a 22 ženách. Výsledek je velmi podobný vyhodnocení pohlavního dimorfismu celé populace, rozdíly jsou však výraznější. U této skupiny obyvatel jsou pohlavní rozdíly největší (Obr. 19).

Při hodnocení tvaru červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u mužů, modrá oblastem, které více prominují u žen. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. U mužů více prominují mediální oblasti ramen, *caput mandibulae* kromě posteriorní části a oblast bodů *gonion*. Na těle okolí *linea mylohyoidea*. U žen více prominují laterální oblasti ramen a posteriorně *caput mandibulae* (Obr. 19A). Statisticky signifikantní je tvar v oblasti na ramenou, *protuberantia mentalis*, na vnějším těle a v okolí *linea mylohyoidea* (Obr. 19B).

Při hodnocení formy je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u mužů o 6 mm větší než u žen, modré oblasti jsou u mužů o 6 mm menší než u žen. U mužů nejvíce promínuje laterálně i posteriorně *processus condylaris* a *processus coronoideus* kromě anteromediální části. Méně laterálně prominují celá ramena a úhly. Viditelná je také *linea mylohyoidea*. U žen více prominují mediální oblasti kloubního výběžku, ramen, úhlů i těla. Globálně jsou ramena mužů dále od sebe než u žen (Obr. 19C). Statisticky signifikantní je forma v oblastech laterálně na ramenech a laterálně i mediálně na úhlech. Další oblasti, kde je forma statisticky signifikantní jsou vnější povrch těla a z mediální strany okolí symfýzy (Obr. 19D).



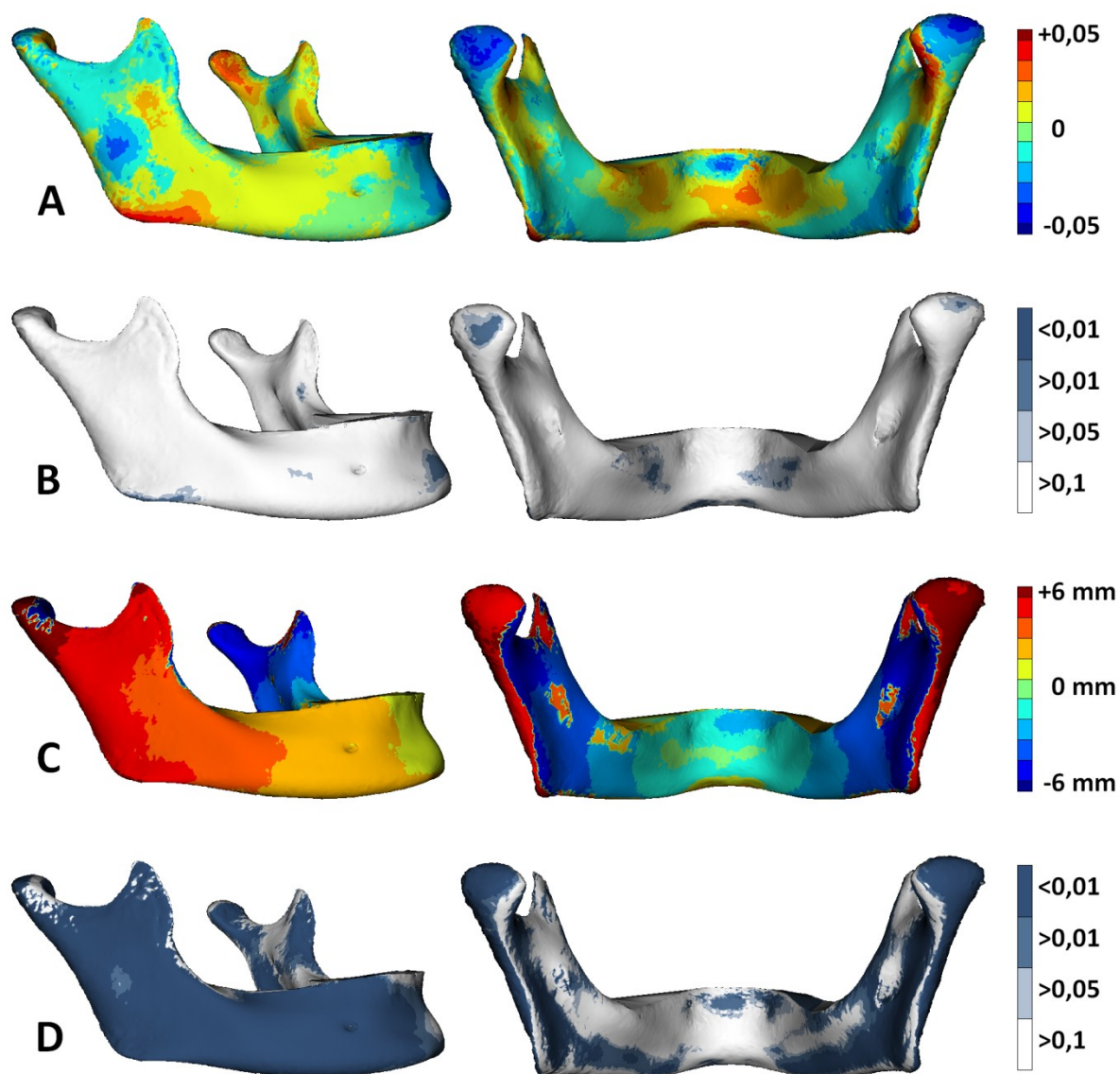
Obrázek 19: Vizualizace pohlavního dimorfismu jedinců z hradu. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádku C je barevná škála v mm. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u mužů a modrá barva oblasti, které více prominují u žen. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

6.2.2 Pohlavní dimorfismus jedinců z podhradí

Pohlavní dimorfismus skupiny jedinců z podhradí byl hodnocen na 16 mužích a 18 ženách (Obr. 20).

Při hodnocení tvaru červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u mužů, modrá oblastem, které více prominují u žen. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. Pohlavní rozdíly nejsou tak velké jako u předchozích skupin. U mužů více prominují oblasti bodu *gonion* a mediálně *caput mandibulae*. U žen více prominují laterální a posteriorní části *caput mandibulae* a *protuberantia mentalis* (Obr. 20A). Nejsou přítomny statisticky signifikantní oblasti pro tvar (Obr. 20B).

Porovnání formy ukazuje rozdíly obdobné u jedinců z hradu. Barevná škála je uvedena v mm. Červené oblasti jsou u mužů o 6 mm větší než u žen, modré oblasti jsou u mužů o 6 mm menší než u žen. U mužů více prominují laterálně a posteriorně *processus condylaris*, o něco méně *processus coronoideus* kromě anteromediální části a laterálně celá ramena i úhly s částečným přesahem na vnější část těla. U žen více prominují mediální oblasti ramen, kloubních výběžků a anteromediálně *processus coronoideus*. Dále mediální oblasti úhlů. Ramena mužů jsou od sebe dále než ramena žen (Obr. 20C). Statisticky signifikantní pro formu jsou laterální oblasti ramen a na jejich mediální straně pruh v posteriorní oblasti přecházející přes úhly na vnitřní část *basis mandibulae*. Statisticky signifikantní pro formu je vnější strana těla (Obr. 20D).



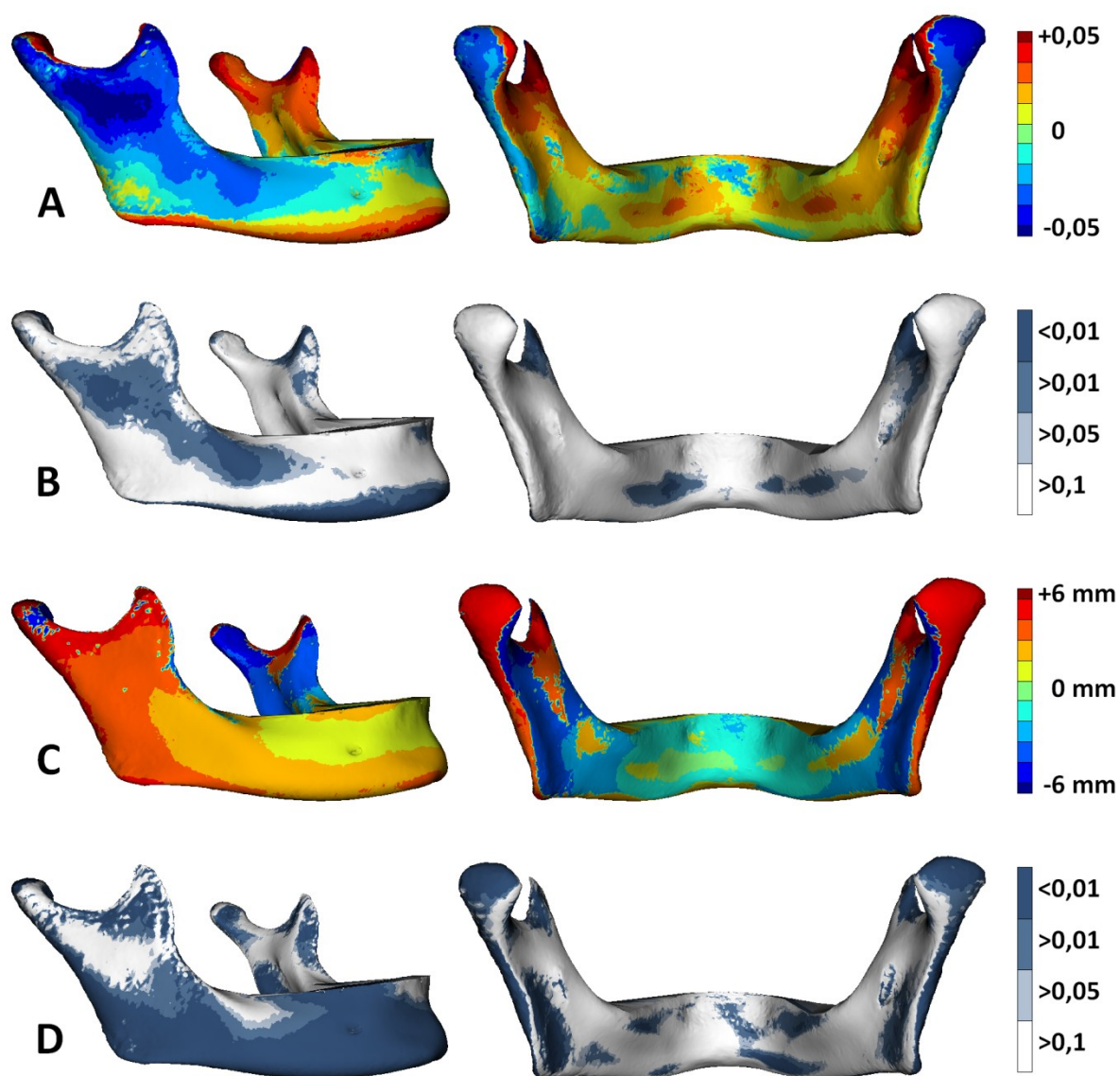
Obrázek 20: Vizualizace pohlavního dimorfismu jedinců z podhradí. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádku C je barevná škála v mm. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u mužů a modrá barva oblasti, které více prominují u žen. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

6.2.3 Pohlavní dimorfismus jedinců ze zázemí

Pohlavní dimorfismus skupiny jedinců ze zázemí byl hodnocen na 22 mužích a 19 ženách (Obr. 21).

U vyhodnocení tvaru červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u mužů, modrá oblastem, které více prominují u žen. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. Analýza ukazuje variaci na předchozí srovnání. U mužů více prominují mediálně *processus condylaris* i *processus coronoideus*. Dále *basis mandibulae* na vnější straně těla až ke gonionům. U žen více prominují laterálně ramena s *processus condylaris* i *processus coronoideus*. *Processus condylaris* i posteriorně (Obr. 21A). Statisticky signifikantní pro tvar jsou oblasti laterálních ramen a mediální část *processus coronoideus*. Na těle je statisticky signifikantní pro tvar vnější část *basis mandibulae* (Obr. 21B).

Při porovnání formy je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u mužů o 6 mm větší než u žen, modré oblasti jsou u mužů o 6 mm menší než u žen. U mužů více prominují laterálně a posteriorně *processus condylaris* a *processus coronoideus* kromě anteromediální části. O něco méně laterálně ramena a úhly. U žen více prominují mediální části ramen, úhlů a anteromediálně *processus coronoideus*. Ramena mužů jsou dále od sebe (Obr. 21C). Statisticky signifikantní pro formu jsou oblasti od *processus condylaris*, přes ramena až na laterální úhly. Další statisticky signifikantní oblastí pro formu je vnější část těla (Obr. 21D).



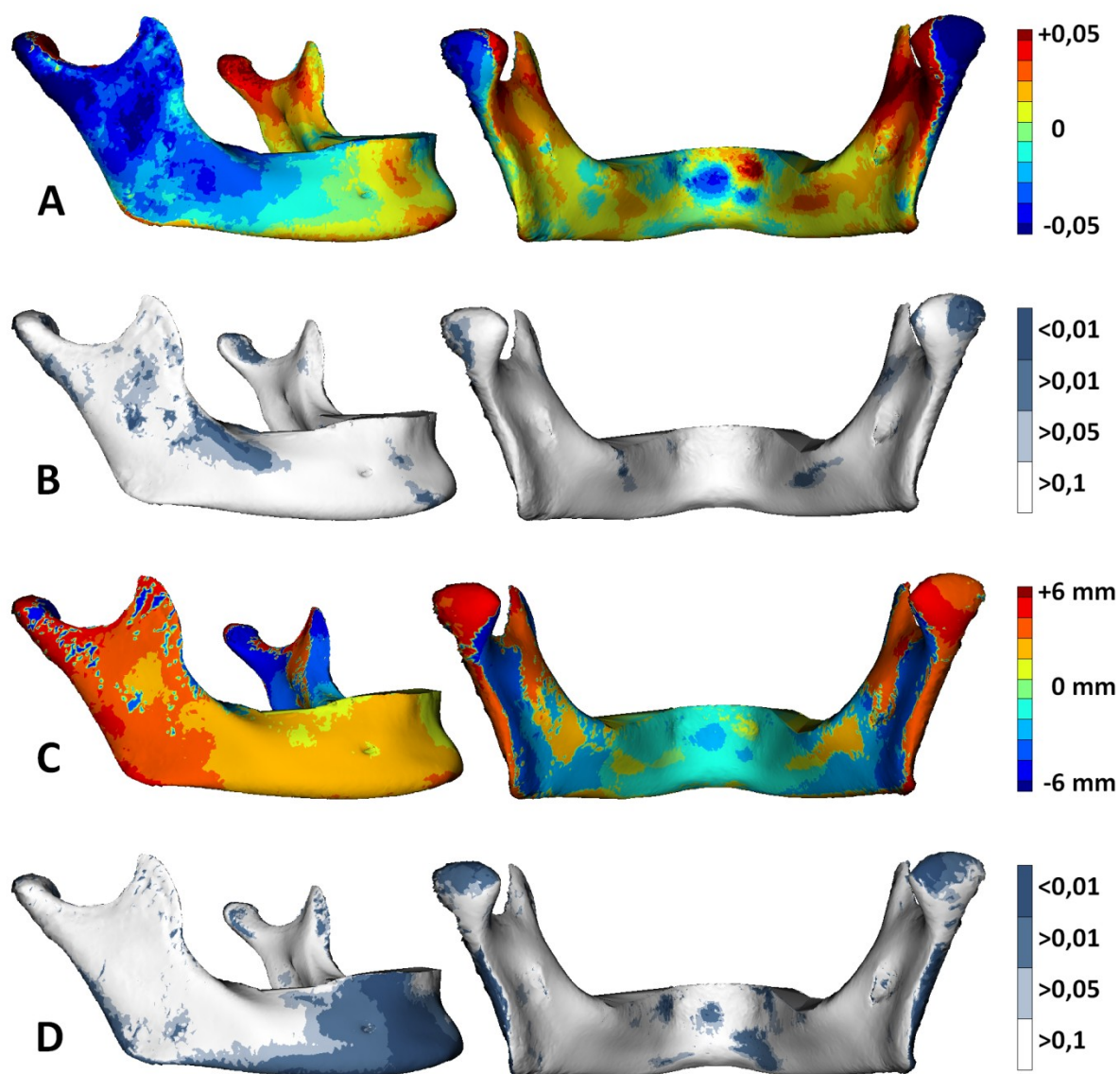
Obrázek 21: Vizualizace pohlavního dimorfismu jedinců ze zázemí. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádku C je barevná škála v mm. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u mužů a modrá barva oblasti, které více prominují u žen. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

6.2.4 Pohlavní dimorfismus jedinců s bohatou hrobovou výbavou

Pohlavní dimorfismus skupiny jedinců s bohatou hrobovou výbavou byl hodnocen na 15 mužích a 8 ženách. U této skupiny je bohužel velmi malý vzorek žen (Obr. 22).

Při analýze tvaru červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u mužů, modrá oblastem, které více prominují u žen. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. Hodnocení ukazuje, že u mužů více prominují mediálně *processus condylaris* a *processus coronoideus*. U žen více prominují laterální oblasti ramen včetně *processus condylaris* a *processus coronoideus* (Obr. 22A). U tohoto srovnání nejsou přítomny větší statisticky signifikantní oblasti pro tvar (Obr. 22B).

Při porovnání formy je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u mužů o 6 mm větší než u žen, modré oblasti jsou u mužů o 6 mm menší než u žen. U mužů více prominují laterálně *processus condylaris*, ramena a okolí bodu *gonion*. Dále *processus coronoideus* kromě anteromediální části. U žen více prominují posteromediální oblasti ramen a *processus condylaris*, včetně anteromediálních částí *processus coronoideus*. Muži mají ramena dále od sebe (Obr. 22C). Statisticky signifikantní pro formu jsou oblasti na *caput mandibulae* a anteriorně na vnější části těla (Obr. 22D).



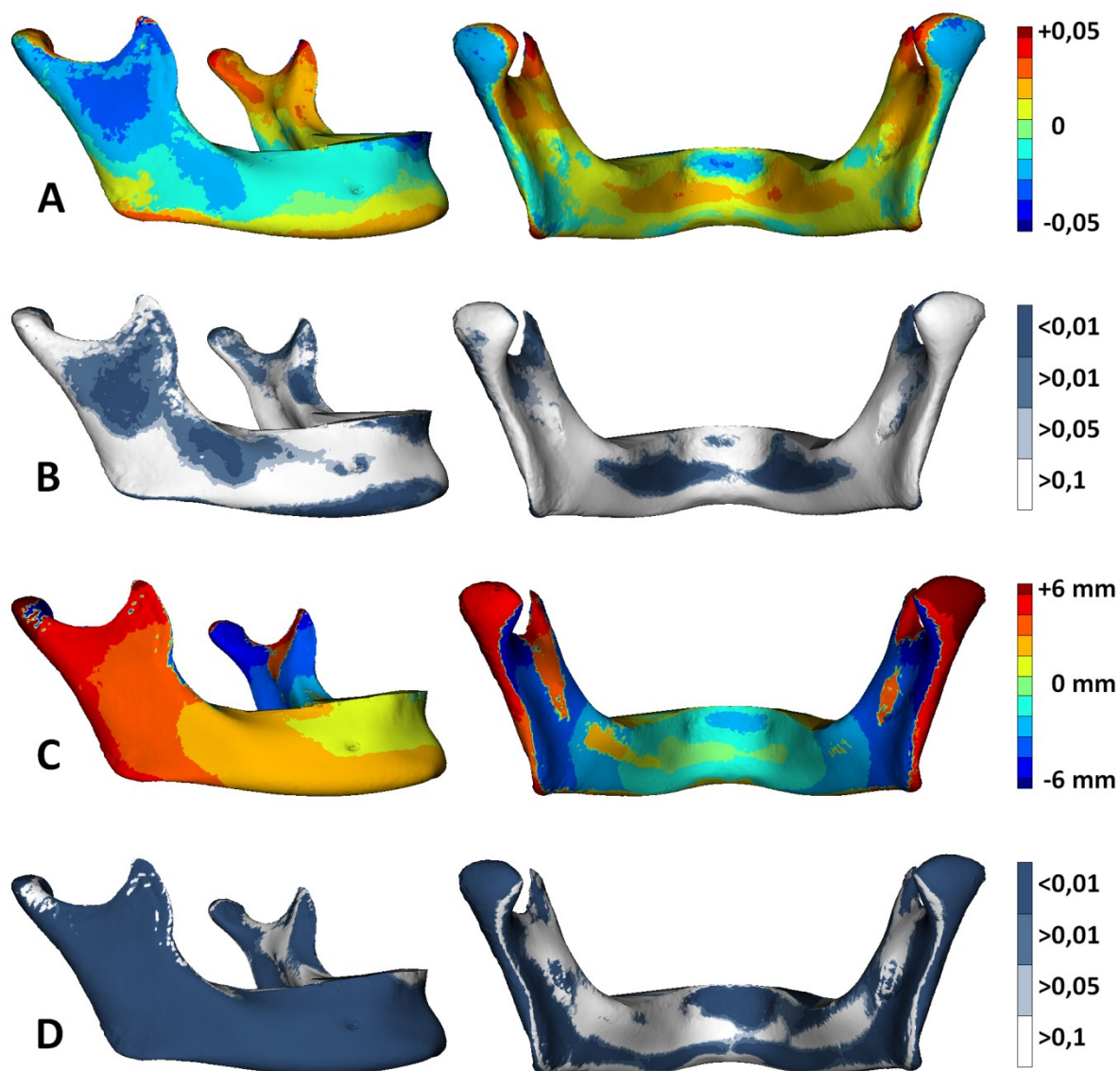
Obrázek 22: Vizualizace pohlavního dimorfismu jedinců s bohatou hrobovou výbavou. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádku C je barevná škála v mm. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u mužů a modrá barva oblasti, které více prominují u žen. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

6.2.5 Pohlavní dimorfismus jedinců s chudou hrobovou výbavou

Pohlavní dimorfismus skupiny jedinců s chudou hrobovou výbavou byl hodnocen na 73 mužích a 59 ženách (Obr. 23).

Při hodnocení tvaru červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u mužů, modrá oblastem, které více prominují u žen. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. U mužů více prominují oblasti okolo bodu *gonion* a mediálně *processus condylaris* i *processus coronoideus*. U žen více prominují oblasti laterálních ramen včetně *processus condylaris* i *processus coronoideus* (Obr. 23A). Statisticky signifikantní pro tvar jsou oblasti laterálních ramen a *processus coronoideus*. Mediálně se jedná o oblasti *processus condylaris* i *processus coronoideus*. Statisticky signifikantní pro tvar jsou i vnější oblasti *basis mandibulae* a okolí *linea mylohyoidea* (Obr. 23B).

Při porovnání formy je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u mužů o 6 mm větší než u žen, modré oblasti jsou u mužů o 6 mm menší než u žen. U mužů na laterální straně více prominuje *processus condylaris*. Dále *processus coronoideus*, okolí bodu *gonion* a úhly. Posteromediálně také *processus coronoideus*. U žen více prominují mediálně oblasti ramen a úhlu společně s mediální stranou *processus condylaris* a anteromediální oblastí *processus coronoideus*. Mužská ramena jsou globálně dále od sebe (Obr. 23C). Statisticky signifikantní pro formu jsou laterální oblasti ramen a *caput mandibulae*, dále laterální a anteromediální oblasti *processus coronoideus*. Další oblasti statisticky signifikantní pro formu začínají na vnitřní straně *basis mandibulae* a táhnou se až na ramena. Z vnější strany se jedná o oblast celého těla (Obr. 23D).



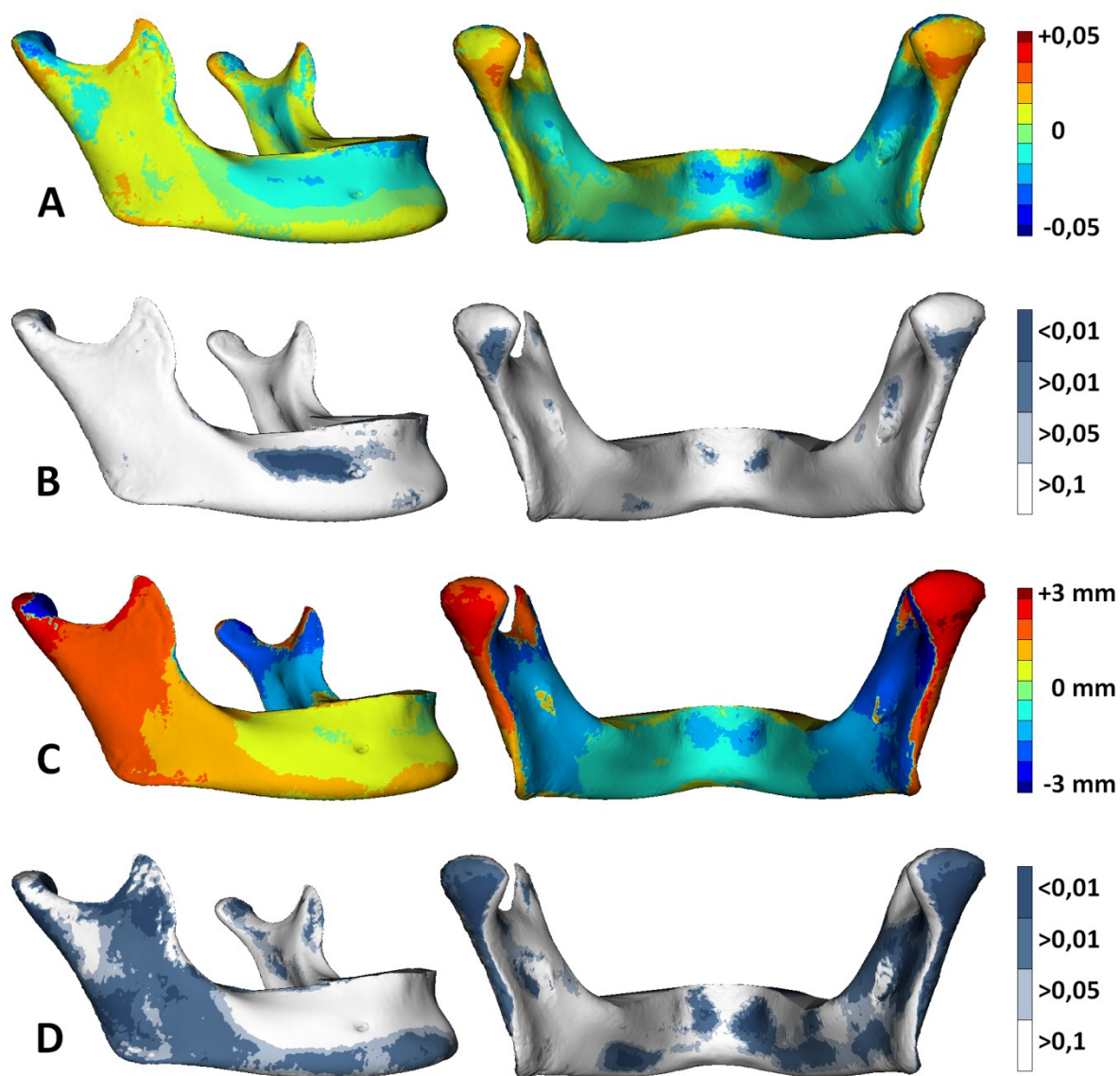
Obrázek 23: Vizualizace pohlavního dimorfismu jedinců s chudou hrobovou výbavou. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádku C je barevná škála v mm. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u mužů a modrá barva oblasti, které více prominují u žen. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

6.2.6 Srovnání morfologie jedinců z hradu s jedinci z podhradí

Při tomto srovnání byla porovnána morfologie 57 jedinců z hradu (35 mužů a 22 žen) s 34 jedinci z podhradí (16 mužů a 18 žen) (Obr. 24 a 25).

Při hodnocení tvaru červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u jedinců z hradu, modrá oblastem, které více prominují u jedinců z podhradí. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. Porovnání nevykazuje výrazné rozdíly mezi jedinci z hradu a z podhradí. U jedinců z hradu více promínuje posteriorně *caput mandibulae* a vrcholy *processus coronoideus*. U jedinců z podhradí více prominují anteriorní oblasti *processus condylaris* (Obr. 24A). Statisticky signifikantní pro tvar jsou oblasti *processus condylaris* a vnější část *basis mandibulae* (Obr. 24B).

Při vyhodnocení formy je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u jedinců z hradu o 3 mm větší než u jedinců z podhradí, modré oblasti jsou u jedinců z hradu o 3 mm menší než u jedinců z podhradí. U jedinců z hradu více prominují posteriorně *processus condylaris* i *processus coronoideus*. O něco méně laterálně oblasti ramen a úhlů. U jedinců z podhradí více prominují mediální oblasti *processus condylaris*, anteromediálně *processus coronoideus* a mediální části ramen. Ramena jsou u jedinců z hradu dále od sebe než u jedinců z podhradí (Obr. 24C). Statisticky signifikantní pro formu jsou fragmentárně laterálně ramena a *processus condylaris* i *processus coronoideus*. Další statisticky signifikantní oblastí pro formu je na vnější straně *basis mandibulae* (Obr. 24D).



Obrázek 24: Vizualizace srovnání morfologie jedinců z hradu s jedinci z podhradí. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádku C je barevná škála v mm. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u jedinců z hradu a modrá barva oblasti, které více prominují u jedinců z podhradí. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

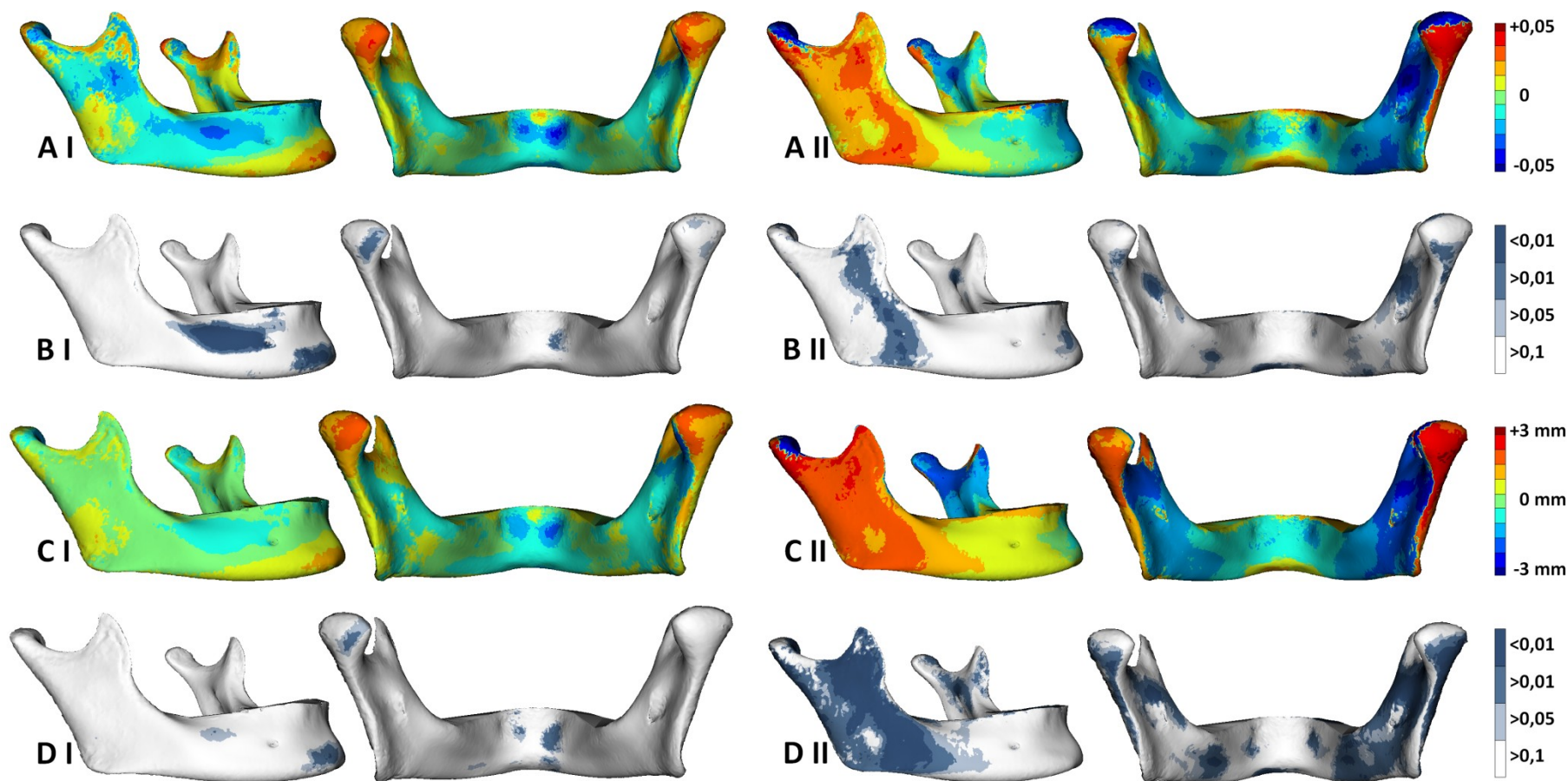
Při hodnocení tvaru u mužů červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u mužů z hradu, modrá oblastem, které více prominují u mužů z podhradí. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. Muži z hradu více prominuje posteriorně *processus condylaris*, posteromediálně *processus coronoideus* a *protuberantia mentalis*. U mužů z podhradí více prominuje okolí *spina mentalis* a vnější část těla v rozsahu od *foramen mentale* směrem ke stoličkám (Obr. 25A I). Statisticky signifikantní pro tvar jsou posteriorní oblasti *caput mandibulae*, *protuberantia mentalis* a na vnějším těle oblast rozkládající se od *foramen mentale* ke stoličkám (Obr. 25B I).

Při vyhodnocení formy u mužů je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u mužů z hradu o 3 mm větší než u mužů z podhradí, modré oblasti jsou u mužů z hradu o 3 mm menší než u mužů z podhradí. Na většině dolní čelisti nejsou patrné rozdíly. U mužů z hradu více prominuje posteriorní oblasti *caput mandibulae* (Obr. 25C I). Statisticky signifikantní pro formu je oblast *protuberantia mentalis* (Obr. 25D I).

Při hodnocení tvaru u žen červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u žen z hradu, modrá oblastem, které více prominují u žen z podhradí. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. Patrný je výrazný rozdíl oproti mužům. U žen z hradu více prominují posteriorní oblasti *caput mandibulae*. Dále také linie na laterální straně ramen táhnoucí se od *processus coronoideus* a sestupující šikmo dopředu s linií ramene k dolnímu okraji těla a k úhlu. U žen z podhradí více prominují superiorní části *caput mandibulae* a rozsáhlé mediální části ramen (Obr. 25A II). Statisticky signifikantní pro tvar je oblast rozkládající se anterolaterálně na ramenech a úhlu (Obr. 25B II).

Při vyhodnocení formy u žen je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u žen z hradu o 3 mm větší než u žen z podhradí, modré oblasti jsou u žen z hradu o 3 mm menší než u žen z podhradí. U žen z hradu více prominuje posteriorně *caput mandibulae*. Více u nich prominují laterálně celá ramena a úhly, posteromediálně také *processus coronoideus*. U žen z podhradí více prominují mediálně ramena a úhly včetně obou výběžků, vyjme posteromediální strany *processus coronoideus*. Ramena žen z hradu jsou dále od sebe než u žen z podhradí (Obr. 25C II). Statisticky signifikantní pro formu jsou oblasti laterálně na ramenou a nesouvislé oblasti mediálně na ramenou (Obr. 25D II).

Je patrné, že muži z hradu a podhradí jsou si podobnější než ženy z hradu a podhradí. Muži jsou si podobnější jak ve tvaru, tak ve formě. Ženy z hradu mají dolní čelisti větší než ženy z podhradí. Největší rozdíl je u žen patrný v posteriorní části *processus condylaris* (Obr. 25).



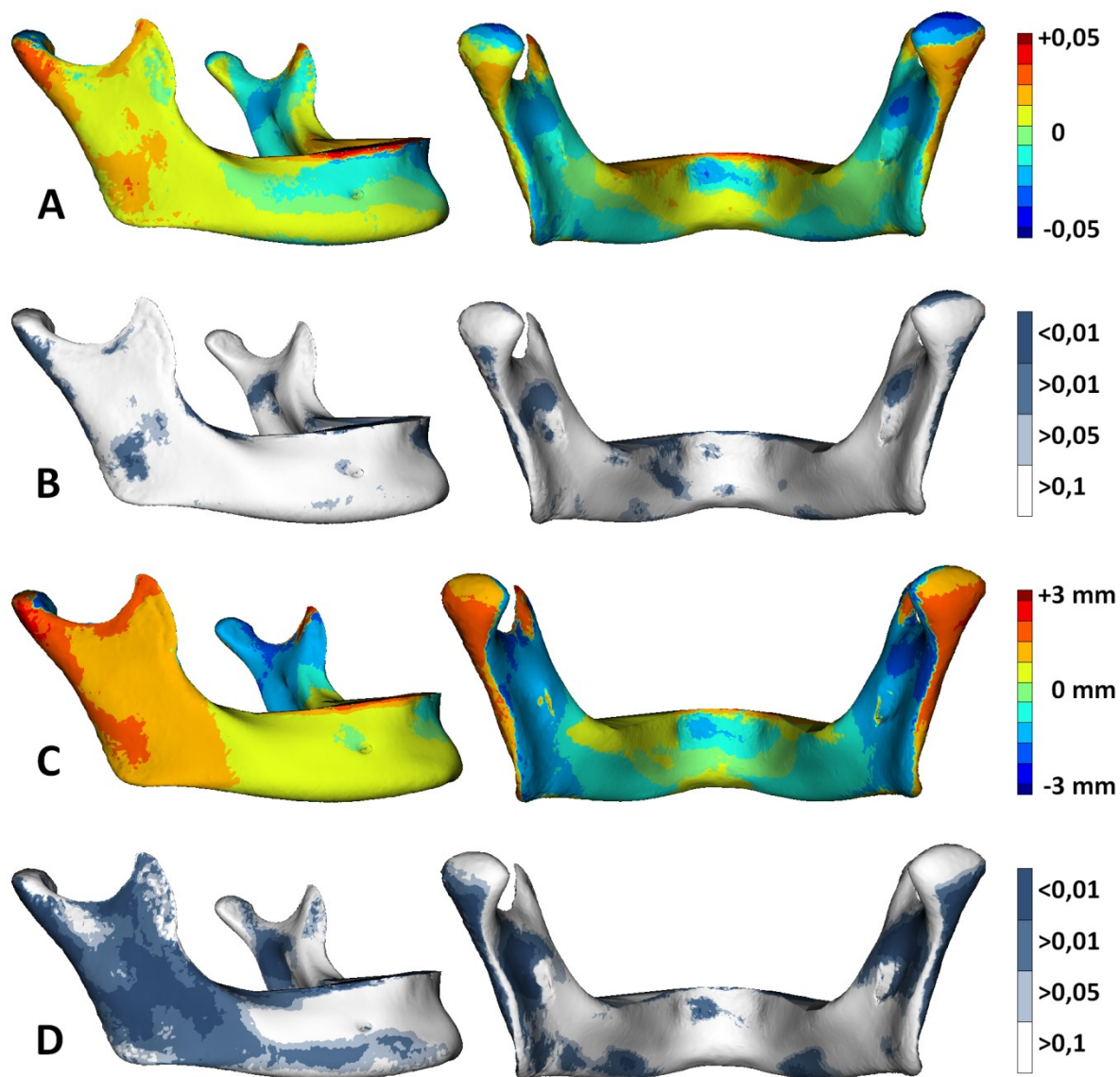
Obrázek 25: Vizualizace morfologie jedinců z hradu s jedinci z podhradí pro pohlaví odděleně. Oddíl I zobrazují muže, oddíl II zobrazují ženy. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u jedinců z hradu a modrá barva oblasti, které více prominují u jedinců z podhradí. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

6.2.7 Srovnání morfologie jedinců z hradu s jedinci ze zázemí

Při tomto srovnání byla porovnána morfologie 57 jedinců z hradu (35 mužů a 22 žen) s 41 (22 mužů a 19 žen) jedinci ze zázemí (Obr. 26 a 27).

Při porovnání tvaru červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u mužů, modrá oblastem, které více prominují u žen. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. Tyto dvě skupiny nejsou tvarově příliš odlišné, rozdíly jsou však větší než při srovnání jedinců z hradu a podhradí. U jedinců z hradu více prominují posteriorní oblasti *processus condylaris* a vrcholky *processus coronoideus*. U jedinců ze zázemí více promínuje superiorně *caput mandibulae* (Obr. 26A). Nejsou přítomny větší oblasti statisticky signifikantní pro tvar (Obr. 26B).

Při vyhodnocení formy je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u jedinců z hradu o 3 mm větší než u jedinců ze zázemí, modré oblasti jsou u jedinců z hradu o 3 mm menší než ze zázemí. U jedinců z hradu více prominují posteriorní oblasti *processus condylaris* a *processus coronoideus*. U jedinců ze zázemí více prominují anteromediální oblasti *processus coronoideus*. Ramena jedinců z hradu jsou dál od sebe než u jedinců z podhradí (Obr. 26C). Statisticky signifikantní pro formu jsou oblasti laterálních ramen, laterální úhly a mediální oblasti ramen (Obr. 26D).



Obrázek 26: Vizualizace srovnání morfologie jedinců z hradu s jedinci ze zázemí. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádku C je barevná škála v mm. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u jedinců z hradu a modrá barva oblasti, které více prominují u jedinců ze zázemí. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

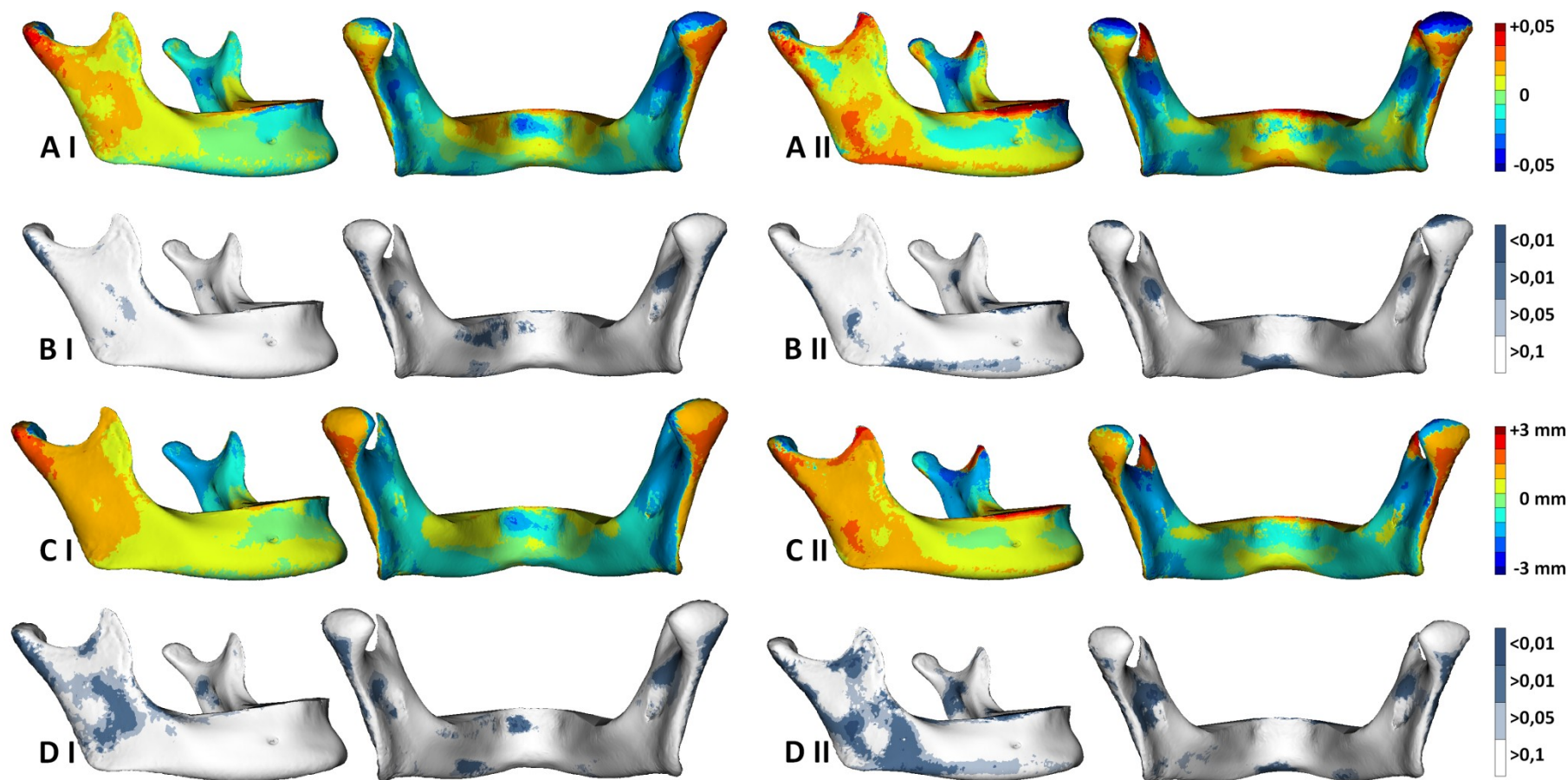
Při hodnocení tvaru u mužů červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u mužů z hradu, modrá oblastem, které více prominují u mužů ze zázemí. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. U mužů z hradu více prominuje posteriorně *processus coronoideus*. U mužů ze zázemí v kontrastu více prominují mediálně ramena, úhly a superiorně *caput mandibulae* (Obr. 27A I). Nejsou přítomny statisticky signifikantní oblasti pro tvar (Obr. 27B I).

Při vyhodnocení formy u mužů je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u mužů z hradu o 3 mm větší než u mužů ze zázemí, modré oblasti jsou u mužů z hradu o 3 mm menší než u mužů ze zázemí. U mužů z hradu více prominuje posteriorně *processus coronoideus*. Mužům ze zázemí chybějí oblasti ve kterých více prominují vůči mužům z hradu (Obr. 27 I). Statisticky signifikantní pro formu jsou oblasti posteriorně na *processus condylaris* a nesouvisle laterální oblasti na ramenou (Obr. 27D I).

Při hodnocení tvaru u žen červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u žen z hradu, modrá oblastem, které více prominují u žen ze zázemí. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. U žen z hradu více prominují posteriorně oba výběžky a laterálně úhly. U žen ze zázemí více prominují superiorně *caput mandibulae* a mediální stranu ramen (Obr. 27A II). Statisticky signifikantní pro tvar jsou superiorní oblasti *caput mandibulae* (Obr. 27B II).

Při vyhodnocení formy u žen je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u žen z hradu o 3 mm větší než u žen ze zázemí, modré oblasti jsou u žen z hradu o 3 mm menší než u žen ze zázemí. U žen z hradu více prominují posteriorní oblast *processus condylaris* a *processus coronoideus*. U žen ze zázemí nejsou přítomny oblasti, ve kterých více prominují (Obr. 27C II). Statisticky signifikantní pro formu jsou oblasti laterálně na ramenou i úhlech a menší regiony kolem *foramen mandibulae* (Obr. 27D II).

Muži z hradu a ze zázemí se mezi sebou liší méně než ženy z hradu a ze zázemí. Je to patrné jak na jejich formě, tak i na tvaru. U obou pohlaví však mají jedinci z hradu ramena dále od sebe než jedinci ze zázemí (Obr. 27).



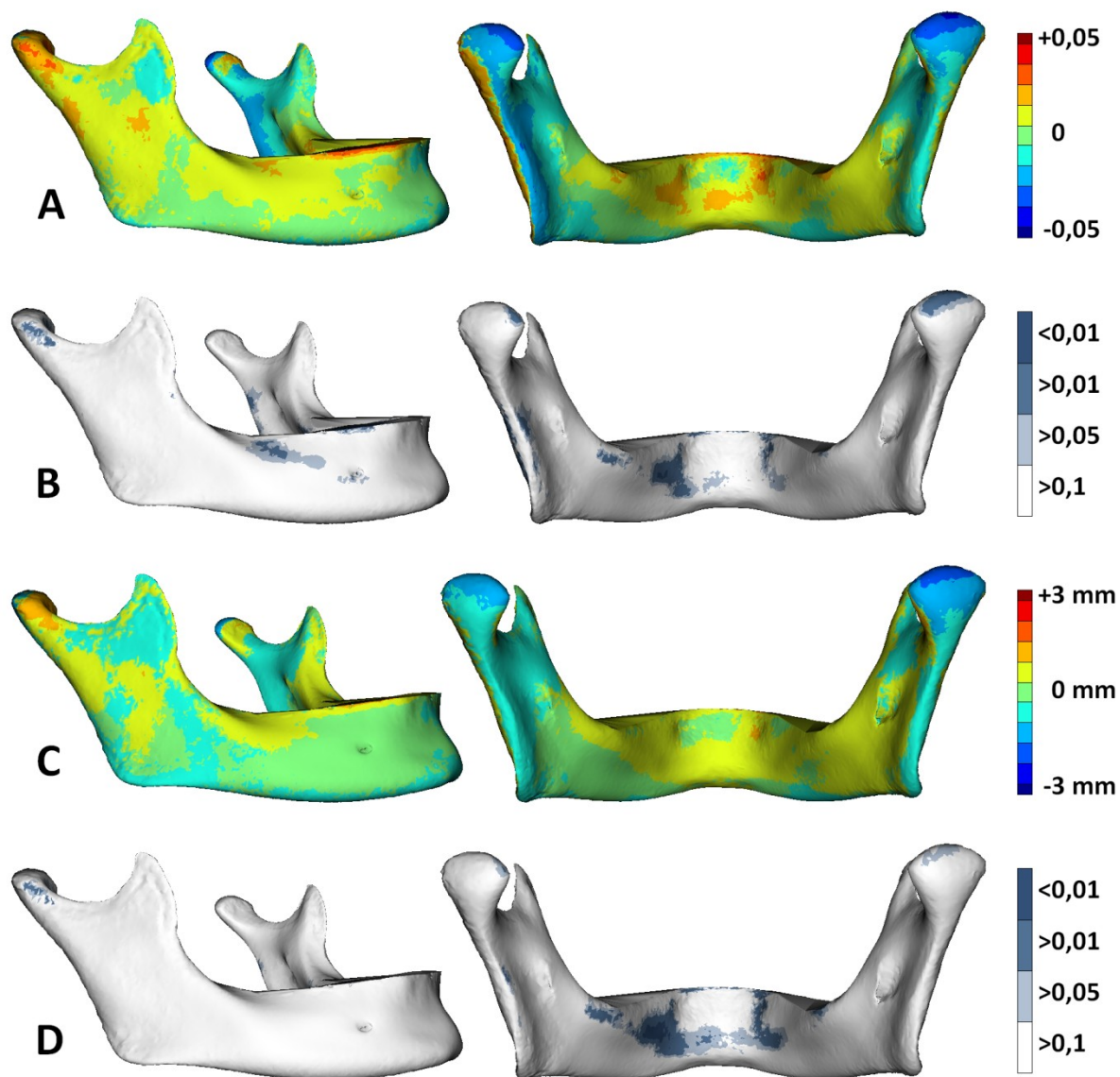
Obrázek 27: Vizualizace morfologie jedinců z hradu s jedinci ze zázemí pro pohlaví odděleně. Oddíl I zobrazují muže, oddíl II zobrazují ženy. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u jedinců z hradu a modrá barva oblasti, které více prominují u jedinců ze zázemí. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

6.2.8 Srovnání morfologie jedinců z podhradí s jedinci ze zázemí

Při tomto srovnání byla porovnána morfologie 34 jedinců z podhradí (16 mužů a 18 žen) s 41 jedinci ze zázemí (22 mužů a 19 žen). Tyto dvě skupiny jsou si velmi podobné tvarem i formou. Z toho důvodu nejsou přítomny signifikantně odlišné oblasti (Obr. 28 a 29).

Při srovnání tvaru červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u jedinců z podhradí, modrá oblastem, které více prominují u jedinců ze zázemí. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. Tyto dvě skupiny se od sebe příliš neliší. U jedinců z podhradí mírně více prominují laterální a anteriorní oblasti *processus condylaris*. U jedinců ze zázemí více prominuje superiorně *caput mandibulae* (Obr. 28A). Pro tvar nejsou přítomny větší statisticky signifikantní oblasti (Obr. 28B).

Při vyhodnocení formy je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u jedinců z podhradí o 3 mm větší než u jedinců ze zázemí, modré oblasti jsou u jedinců z podhradí o 3 mm menší než u jedinců ze zázemí. U jedinců z podhradí více prominují laterální oblasti *processus condylaris*. U jedinců z podhradí více prominuje superiorně *caput mandibulae* (Obr. 28C). Větší statisticky signifikantní oblasti pro formu nejsou přítomny (Obr. 28D).



Obrázek 28: Vizualizace srovnání morfologie jedinců z podhradí s jedinci ze zázemí. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádku C je barevná škála v mm. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u jedinců z podhradí a modrá barva oblasti, které více prominují u jedinců ze zázemí. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

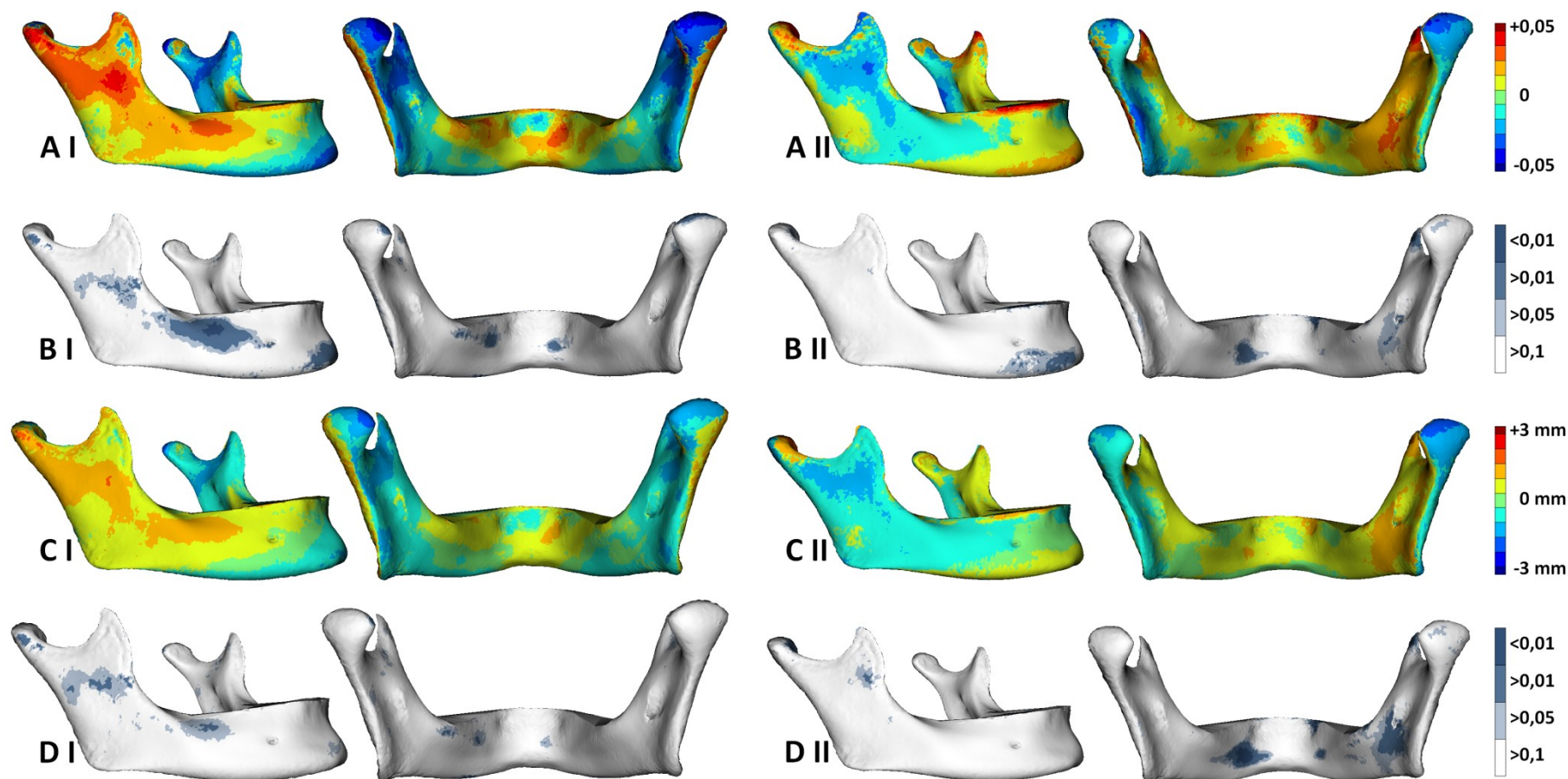
Při hodnocení tvaru u mužů červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u mužů z podhradí, modrá oblastem, které více prominují u mužů ze zázemí. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. U mužů z podhradí více prominují laterální strany *processus condylaris*, *processus coronoideus* a laterálně ramena. V kontrastu u mužů ze zázemí více prominují *processus condylaris* kromě laterální strany, mediálně *processus coronoideus* a mediální strana ramen (Obr. 29A I). Statisticky signifikantní pro tvar je oblast táhnoucí se od *foramen mentale* po vnější straně těla směrem ke stoličkám (Obr. 29B I).

Při vyhodnocení formy u mužů je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u mužů z podhradí o 3 mm větší než u mužů ze zázemí, modré oblasti jsou u mužů z podhradí o 3 mm menší než u mužů ze zázemí. Forma jedinců z podhradí a ze zázemí je velmi podobná. U obou skupin chybějí výrazněji prominující oblasti (Obr. 29C I). Statisticky signifikantní oblasti pro tvar nejsou přítomné (Obr. 29D I).

Při hodnocení tvaru u žen červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u žen z podhradí, modrá oblastem, které více prominují u žen ze zázemí. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. U žen z podhradí více prominuje mediálně *processus coronoideus*. U žen ze zázemí více prominuje superiorně *caput mandibulae* (Obr. 29A II). Statisticky signifikantní pro tvar je *protuberantia mentalis* (Obr. 29 II).

Při vyhodnocení formy u žen je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u žen z podhradí o 3 mm větší než u žen ze zázemí, modré oblasti jsou u žen z podhradí o 3 mm menší než u žen ze zázemí. Mezi těmito dvěma skupinami nejsou přítomny výraznější rozdíly. (Obr. 29C II). Větší oblasti statisticky signifikantní pro formu nejsou přítomny (Obr. 29D II).

Je patrné, že srovnání mužů z podhradí a mužů ze zázemí vykazuje rozdílnou tendenci než u žen. U mužů z podhradí více prominují laterální oblasti ramen a výběžků, oproti tomu u žen z podhradí více prominují mediální oblasti ramen a výběžků. Ramena mužský čelisti z podhradí jsou dál od sebe než u mužů ze zázemí. U žen jsou dále od sebe ramena žen ze zázemí (Obr. 29).



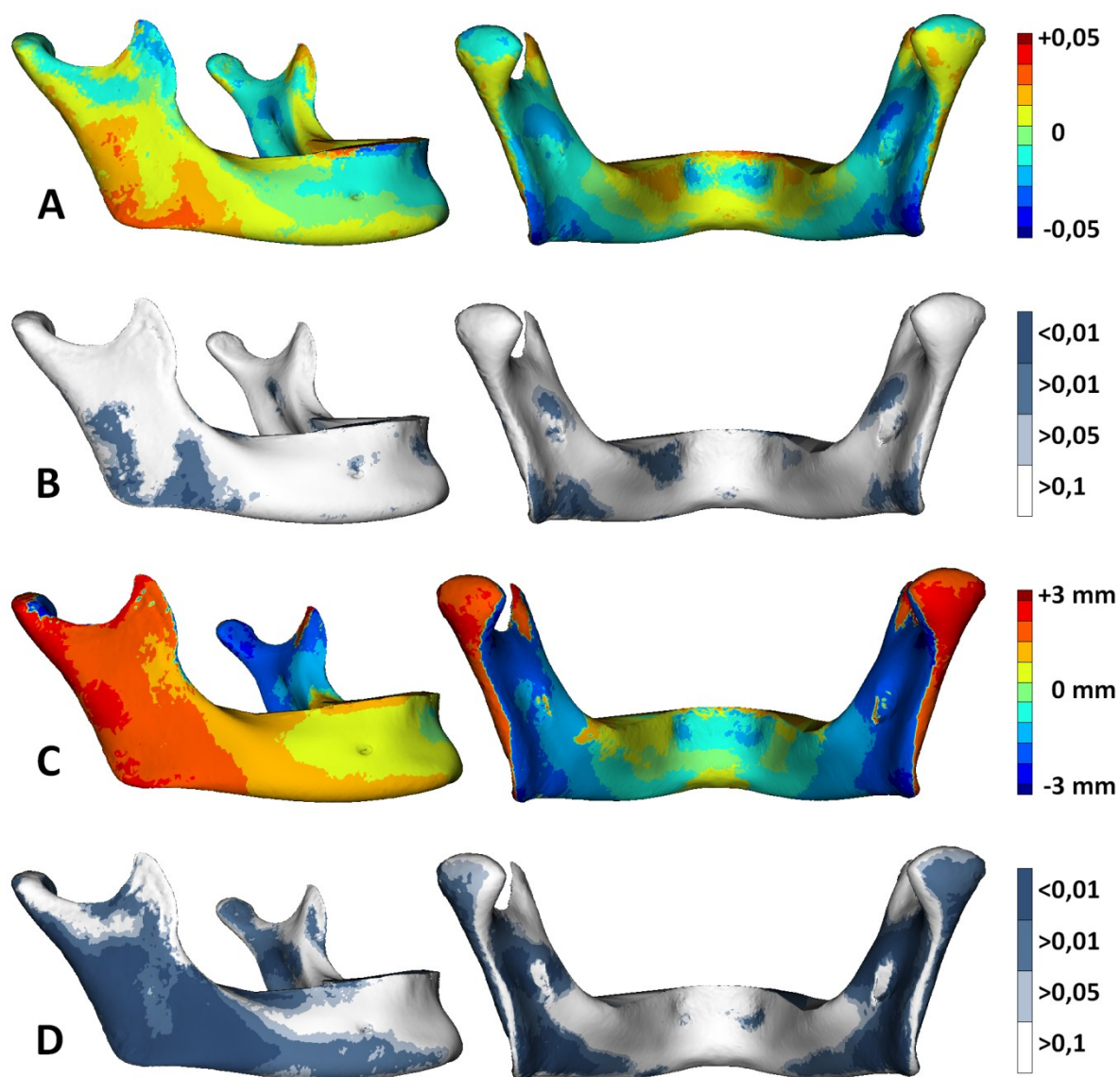
Obrázek 29: Vizualizace morfologie jedinců z podhradí s jedinci ze zázemí pro pohlaví odděleně. Oddíl I zobrazují muže, oddíl II zobrazují ženy. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u jedinců z hradu a modrá barva oblasti, které více prominují u jedinců ze zázemí. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

6.2.9 Srovnání morfologie jedinců s bohatou a chudou hrobovou výbavou

Při tomto srovnání byla porovnána morfologie 23 jedinců s bohatou hrobovou výbavou (15 mužů a 8 žen) se 109 jedinci s chudou hrobovou výbavou (58 mužů a 51 žen). Bohužel počet žen s bohatou hrobovou výbavou je velmi malý a proto může být zatížen značnou chybou (Obr. 30 a 31).

Při hodnocení tvaru červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u jedinců s bohatou hrobovou výbavou, modrá oblastem, které více prominují u jedinců s chudou hrobovou výbavou. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. U jedinců s bohatou hrobovou výbavou více prominují laterálně oblasti úhlů a mediálně vrcholky *processus coronoideus*. U jedinců s chudou hrobovou výbavou více prominují mediálně úhly. Při srovnání tvaru se ukazuje, že jedinci s bohatou hrobovou výbavou mají od sebe dále umístěné okolí bodu *gonion* a ramena než jedinci s chudou hrobovou výbavou (Obr. 30A). Statisticky signifikantní pro tvar jsou oblasti úhlů (Obr. 30B).

Při srovnání formy je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u jedinců s bohatou hrobovou výbavou o 3 mm větší než u jedinců s chudou hrobovou výbavou, modré oblasti jsou u jedinců s bohatou hrobovou výbavou o 3 mm menší než u jedinců s chudou hrobovou výbavou. U jedinců s bohatou hrobovou výbavou více promínuje posteriorně a laterálně *processus condylaris*. Dále posteriorně *processus coronoideus*, ramena a úhly. U jedinců s chudou hrobovou výbavou více prominují mediálně *processus condylaris* a anteromediální části *processus coronoideus*. Dále mediální strana ramen i úhly. Ramena jedinců s bohatou hrobovou výbavou jsou umístěna dále od sebe než ramena jedinců s chudou hrobovou výbavou (Obr. 30C). Statisticky signifikantní pro formu jsou oblasti umístěné posteriorně na *processus condylaris*, ramena a úhly (Obr. 30D).



Obrázek 30 Vizualizace srovnání morfologie jedinců s bohatou hrobovou výbavou s jedinci s chudou hrobovou výbavou. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádku C je barevná škála v mm. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u jedinců s bohatou hrobovou výbavou a modrá barva oblasti, které více prominují u jedinců s chudou hrobovou výbavou. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

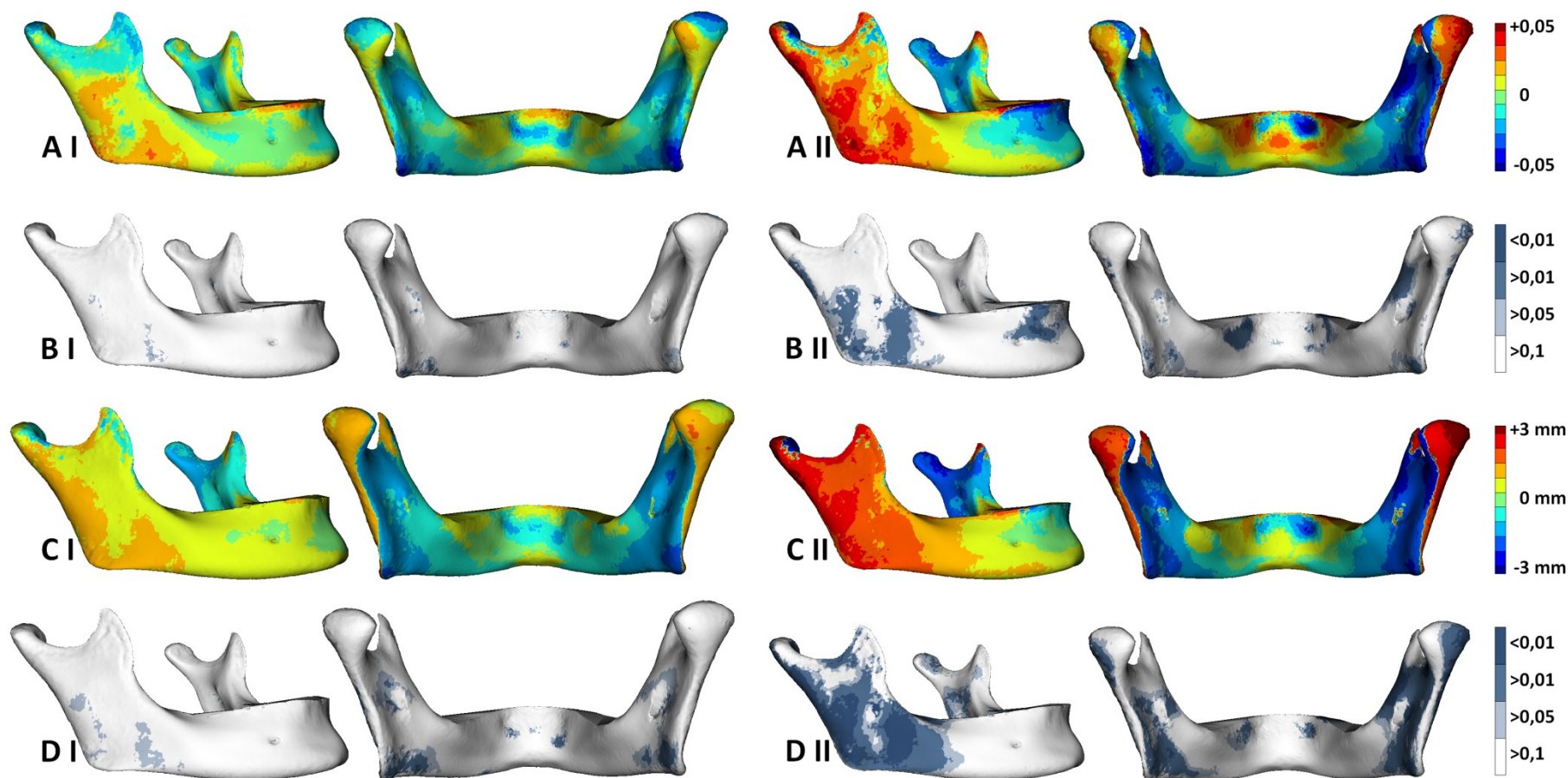
Při hodnocení tvaru u mužů červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u mužů s bohatou hřobovou výbavou, modrá oblastem, které více prominují u mužů s chudou hřobovou výbavou. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. U mužů s bohatou hřobovou výbavou více prominuje laterálně okolí bodu *gonion*. U mužů s chudou hřobovou výbavou více prominují laterálně oba výběžky a mediálně úhly (Obr. 31A I). Statisticky signifikantní pro tvar nejsou žádné oblasti (Obr. 31B I).

Při vyhodnocení formy u mužů je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u mužů s bohatou hřobovou výbavou o 3 mm větší než u mužů s chudou hřobovou výbavou, modré oblasti jsou u mužů s bohatou hřobovou výbavou o 3 mm menší než u mužů s chudou hřobovou výbavou. U mužů s bohatou hřobovou výbavou více prominují posteriorně *processus condylaris* a laterálně úhly. U mužů s chudou hřobovou výbavou více prominují především mediálně okolí bodu *gonion* (Obr. 31C I). Statisticky signifikantní pro formu jsou mediální oblasti na úhlu (Obr. 31D I).

Při hodnocení tvaru u žen červená barva odpovídá oblastem, které více prominují u žen s bohatou hřobovou výbavou, modrá oblastem, které více prominují u žen s chudou hřobovou výbavou. Barevná škála je relativní, bezrozměrná. U žen s bohatou hřobovou výbavou více prominují laterálně úhly a ramena. Další oblasti, které více prominují, jsou laterálně a posteriorně *processus condylaris* a takřka celý *processus coronoideus*. Více prominuje i okolí *symphysis mandibulae*. U žen s chudou hřobovou výbavou více prominují mediálně úhly, o trochu méně mediálně ramena a *processus condylaris* (Obr. 31A II). Statisticky signifikantní pro tvar jsou oblasti laterálních úhlů (Obr. 31B II).

Při vyhodnocení formy u žen je barevná škála uvedena v mm. Červené oblasti jsou u žen s bohatou hřobovou výbavou o 3 mm větší než u žen s chudou hřobovou výbavou, modré oblasti jsou u žen s bohatou hřobovou o 3 mm menší než u žen s chudou hřobovou výbavou. U žen s bohatou hřobovou výbavou více prominují laterálně a posteriorně *caput mandibulae* i laterálně ramena s *processus coronoideus* a úhly. *Processus coronoideus* prominuje i posteromediálně. U žen s chudou hřobovou výbavou více prominují mediálně *processus condylaris*, posteromediálně *processus coronoideus* a na mediální straně i ramena a úhly (Obr. 31C II). Statisticky signifikantní pro formu jsou oblasti laterálně i mediálně na ramenou, včetně *processus condylaris* (Obr. 31D II).

U žen jsou rozdíly mezi jedinci s bohatou a s chudou hřobovou výbavou mnohem výraznější než u mužů. Bohužel je ale třeba brát tyto výsledky s rezervou kvůli nízkému zastoupení žen s bohatou hřobovou výbavou.



Obrázek 31: Vizualizace morfologie jedinců bohatou hrobovou výbavou s jedinci s chudou hrobovou výbavou pro pohlaví odděleně. Oddíl I zobrazují muže, oddíl II zobrazují ženy. Řádky A a B hodnotí tvar, řádky C a D hodnotí formu. Barevná škála u řádku A je relativní, bezrozměrná. U řádků A a C označuje červená barva oblasti, které více prominují u jedinců s bohatou hrobovou výbavou a modrá barva oblasti, které více prominují u jedinců s chudou hrobovou výbavou. Řádky B a D zobrazují mapy signifikance. Barevná škála ukazuje nakolik signifikantní je daná oblast na základě p-hodnoty.

6.3 Analýza skupin obyvatelstva metodou podpůrných vektorů (SVM)

Tato kapitola se věnuje výsledkům metody podpůrných vektorů (SVM). Tento přístup je zvolen za účelem zhodnocení rozdělení mikulčické populace do podskupin. Je tak možné ověřit, zdali jsou tyto skupiny uměle vytvořené nebo odpovídají skutečnému rozdělení mikulčické populace. SVM vypočítává lineární klasifikátor, kterým je populace rozdělena do podskupin. Součástí modelu je i křížová validace ($CV = cross\ validation$). SVM vypočítává úspěšnost rozdělení jedinců do skupin. Jako nejnižší přijatelná hodnota správného zařazení se udává 70 % (Franklin et al., 2013). Při klasifikaci může docházet k překryvu mezi skupinami. Proto úspěšnost SVM kromě CV hodnotí i plocha pod grafem ($Area\ under\ curve = AUC$). Tradiční interpretace hodnoty AUC odpovídá: 0,9 až 1 (90 až 100 %) excelentní, 0,8 až 0,9 (80 až 90 %) dobré, 0,7 až 0,8 (70 až 80 %) poctivé, 0,6 až 0,7 (60 až 70 %) špatné a 0,5 až 0,6 (50 až 60 %) selhání (Li a He, 2018). Proto jsou brány v potaz pouze výsledky SVM s hodnotou AUC na 0,7 (70 %).

6.3.1 Forma

Pro formu byly použity první 3 hlavní komponenty vybrané na základě kritéria *broken stick* (Obr. 8.). Výsledek křížové validace pomocí SVM a plochu pod ROC křivkou zobrazuje tabulka 11.

Pro pohlaví kritérium AUC dovoluje přihlížet pouze na výsledky pro celou populaci (79,5 %) a pro jedince ze zázemí (78,0 %). U ostatních skupin jsou AUC nižší než 70 %.

Výsledky SVM ukazují, že rozlišení jedinců podle kategorie není možné. Buď jsou nízké hodnoty CV nebo CV i AUC. Jedince nejlépe klasifikuje hrobový výbava. U obou pohlaví dohromady dosahuje správné zařazení 82,6 % (AUC 97,7 %). U mužů 79,5 % (AUC 87,1 %) a u žen dokonce 84,4 % (AUC 89,9 %).

Tabulka 11: Výsledky křížové validace získané metodou SVM pro analýzu formy

Porovnávané skupiny		CV úspěšnost (%)	AUC (%)
Pohlaví			
muži	ženy	79,5	92,7
muži - hrad	ženy - hrad	78,9	54,2
muži - podhradí	ženy - podhradí	73,5	48,1
muži - zázemí	ženy - zázemí	78,0	74,2
muži - bohatá hrobový výbava	ženy - bohatá hrobový výbava	56,5	56,4
muži - chudá hrobová výbava	ženy - chudá hrobová výbava	74,3	57,9
Lokalita			
hrad	podhradí	67,0	72,0
hrad	zázemí	48,0	69,0
podhradí	zázemí	58,7	66,5
muži hrad	muži podhradí	74,5	79,3
muži hrad	muži zázemí	54,4	59,8
muži podhradí	muži zázemí	63,2	41,4
ženy hrad	ženy podhradí	55,0	58,3
ženy hrad	ženy zázemí	43,9	56,4
ženy podhradí	ženy zázemí	48,6	55,6
Hrobová výbava			
bohatá	chudá	82,6	97,7
muži bohatá	muži chudá	79,5	87,1
ženy bohatá	ženy chudá	84,4	89,9

6.3.2 Tvar

Pro tvar bylo použito prvních šest hlavních komponent vybraných na základě kritéria *broken stick* (Obr. 13). Výsledek křížové validace pomocí SVM zobrazuje tabulka 12.

Rozlišení všech jedinců podle pohlaví dosahuje hodnot 62,9 % (AUC 99,0 %). Nejvyšší úspěšnost křížové validace dosáhlo rozlišení mužů a žen ze zázemí, 68,3 % (AUC 76,7 %). Tyto výsledky ale nedosahují úspěšnosti CV nad 70 %. U další skupin je buď příliš nízká hodnota CV nebo AUC.

Při rozdělení jedinců podle lokality není možné použít žádné výsledky. Hodnoty CV, ani ROC nejsou dostatečně vysoké.

Úspěšná je klasifikace na základě hrobové výbavy. A to jak u všech jedinců dohromady (82,6 %, 98,7 AUC), tak jednotlivě u mužů (79,5 %, AUC 84,6 %) a žen (86,4 %, AUC 93,2 %) kde jde o nejlepší výsledek klasifikace křížovou validací SVM.

Kromě kritéria hrobové výbavy dosahují hodnoty správné klasifikace nižších hodnot než pro u formy. Výsledky jsou obecně méně průkazné než u formy. To ukazuje na významný vliv velikosti.

Tabulka 12: Výsledky křížové validace získané metodou SVM pro analýzu tvaru.

Porovnávané skupiny		CV úspěšnost (%)	AUC (%)
Pohlaví			
muži	ženy	62,9	99,0
muži - hrad	ženy - hrad	52,6	48,3
muži - podhradí	ženy - podhradí	38,2	50,9
muži - zázemí	ženy - zázemí	68,3	76,7
muži - bohatá hrobová výbava	ženy - bohatá hrobová výbava	52,2	70,4
muži - chudá hrobová výbava	ženy - chudá hrobová výbava	65,1	54,2
Lokalita			
hrad	podhradí	58,2	75,7
hrad	zázemí	57,1	74,5
podhradí	zázemí	46,7	58,6
muži hrad	muži podhradí	62,7	85,4
muži hrad	muži zázemí	52,6	69,5
muži podhradí	muži zázemí	36,8	63,5
ženy hrad	ženy podhradí	32,5	51,9
ženy hrad	ženy zázemí	51,2	63,5
ženy podhradí	ženy zázemí	45,9	48,8
Hrobová výbava			
bohatá	chudá	82,6	98,7
Muži bohatá	muži chudá	79,5	84,6
ženy bohatá	ženy chudá	86,4	93,2

7 Diskuze

Tato diplomová práce se zabývá morfologií dolní čelisti v závislosti na demografické struktuře mikulčického hradiště z raného středověku. Jejím cílem je zhodnocení morfologie dolní čelisti v závislosti na hrobové výbavě, lokalitě hrobů a pohlaví.

Lokalita hrobů pravděpodobně souvisí se sociálním postavením jedinců v nich pohřbených (Poláček, 2008a). Je předpokládáno, že jedinci pohřbení uvnitř hradu (akropole) patří k elitám. Jedinci z podhradí představovali střed společnosti a obyvatelé zázemí měli nejnižší společenský status (Poláček, 2008a; b).

Tento přístup komplikuje postupný přesun i privilegovaných obyvatel. Z důvodu stavby četných kostelů se museli z hradu (akropole) přesunout (Poulík, 1962). Elitní jedinci byli pohřbíváni především uvnitř kostelů a v jejich těsné blízkosti (Poulík, 1975). Většina kostelů se sice nachází v hradu (akropole), ovšem několik kostelů je i mimo něj (Poulík, 1975; Poláček, 2008a). Možná je i existence velmožských dvorců v okolí samotného hradiště (Poulík, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976).

Alternativou je rozlišení sociálního postavení jedinců na základě hrobové výbavy. Hroby s bohatou hrobovou výbavou patří elitám. Hroby s chudou hrobovou výbavou patřili jedincům neelitního původu. Za elitní jsou hroby považované pokud obsahují zlato, stolní náčiní, luxusní textil, náušnice veligrábského typu, gombíky, honosná nákončí opasků, lýtková kování, meče, kopí, sekery a ostruhy. K elitním hrobům patří i hroby nacházející se v interiérech kostelů a hroby s pásovým kováním rakví. U ostatních jedinců jsou přítomny předměty každodenní potřeby jako nádoby, přesleny, nože, pazourky a čepele (Poláček, 2008a).

Situaci komplikuje proměna pohřebního ritu způsobená šířením křesťanství. Pohřbívání s výbavou je pohanskou tradicí. (Poulík, 1975). Od té je v průběhu 9. století n. l. upouštěno, a proto je patrný postupný úbytek hrobové výbavy až její téměř úplná absence. Navíc ke křesťanství přestupovala nejdříve vládnoucí vrstva, a tak ze záznamu jako první mizí honosné hroby (Poulík, 1962; Stloukal a Vyhnálek, 1976; Havlík, 1978; Poláček, 2008a). Především hodnotné předměty mohou chybět i z důvodu vykrádání hrobů (Poulík, 1975).

7.1 Pohlavní dimorfismus

Mužské dolní čelisti jsou větší a mají ramena dál od sebe (například Buikstra a Ubelaker, 1994; Rosas a Bastir, 2002; Franklin et al., 2008; İşcan a Steyn, 2013). Hlavním vysvětlením větší velikosti je delší období růstu mužských ramen (Hunter a Garn, 1972; Walker a Kowalski, 1972; Kemkes-Grottenthaler et al., 2002). Širší ramena také zvyšují mechanickou sílu *musculus masseter* a *musculus temporalis* (Nicholson a Harvati, 2006). Předpokladem proto bylo, že mužské dolní čelisti budou větší a s širšími rameny než ženské. Největší rozdíly jsou očekávány v místech úponů žvýkacích svalů. Konkrétně v okolí bodu *gonion* a na *tuberositas masseterica* pro *musculus masseter* a *processus coronoideus* pro *musculus temporalis*. Další oblasti s očekávaným rozdílem jsou *protuberantia mentalis* a *processus condylaris* (Buikstra a Ubelaker, 1994; Rosas et al., 2002; Walker, 2008; Bejdová et al., 2013). Z celé dolní čelisti je *processus condylaris* nejméně ovlivněn funkcí. Může za to jeho kloubnímu spojení se zbytkem lebky. Proto je na *processus condylaris* možné očekávat větší rozdíly (Menegaz et al., 2010; Paschetta et al., 2010; Wellens et al., 2013).

Výsledky ukazují, že při srovnání celé populace se pohlavní dimorfismus projevuje větší velikostí dolních čelistí u mužů s rameny dál od sebe. Tento výsledek je podpořen i PCA formy zkoumaného datasetu. Velikost odpovídá 68,24 % veškeré variability. Rozdíly jsou statisticky signifikantní na většině povrchu. Zároveň výsledky MANOVA ukazují, že pohlaví je statisticky signifikantní klasifikátor. Pohlavní rozdíly jsou ale statisticky signifikantní i v rámci všech podskupin mikulčické populace. Z toho vyplývá, že pohlavní dimorfismus se v rámci každé podskupiny liší. Proto je důležité zabývat se jednotlivými skupinami obyvatel odděleně.

Při detailnějším pohledu na formu u mužů více prominující právě místa úponů *musculus masseter* (okolí bodu *gonion* a *tuberositas masseterica*) a *musculus temporalis* (*processus coronoideus*). Více prominující okolí bodu *gonion* je typicky mužským znakem (Kemkes-Grottenthaler et al., 2002; White et al., 2012; İşcan a Steyn, 2013). U mikulčických muži více promínuje i *processus condylaris* (*musculus pterygoideus lateralis*). To potvrzuje dřívější studie přímo na mikulčické populaci (Bejdová et al., 2013). Rosas a Bastir (2002) uvádějí, že u mužů je *processus condylaris* umístěn anteriorněji (Rosas a Bastir, 2002). To předkládaná data nepodporují. Naopak další studie uvádí, že se jedná o znak populačně závislý (Bejdová et al., 2013). Mohutnější rozměry *processus condylaris* jsou také udávány v kontextu tužší stravy (Corruccini a Handler, 1980; Varrela, 1992). Z dat vyplývá, že mezi pohlavími není rozdíl v *protuberantia mentalis*. Mikulčická populace je v tomto znaku poměrně uniformní. U žen promínuje více než je obvyklé. Přitom tento znak je uváděn jako

jeden z vhodných znaků pro odhad pohlaví (Buikstra a Ubelaker, 1994; Rosas et al., 2002; Walker, 2008).

Na základě analýz vyplývá, že u jedinců z hradu jsou intersexuální rozdíly výraznější než u celé populace. Mužské dolní čelisti jsou větší s širšími rameny (úpony *musculus masseter* a *musculus temporalis* a *processus coronoideus*). Tento výsledek koresponduje s větší konzumací živočišných proteinů u mužů z hradu (Kaupová et al., 2018). U mužů se plně rozvíjí sekundární pohlavní znaky při dostatečné výživě. Pohlavní rozdíly jsou proto výraznější (Weaver, 2000; Suazo et al., 2008). Výsledky pohlavního dimorfismu jedinců z podhradí jsou patrné v obdobných oblastech jako u jedinců z hradu. Míra pohlavního dimorfismu je u těchto dvou skupin srovnatelná. Tento výsledek není podpořen analýzou stravy izotopových metod, protože jedinci z podhradí konzumovali méně živočišných proteinů než jedinci z hradu (Ibrová et al., 2017). Z výsledků je patrné, že jedinci ze zázemí mají sexuální dimorfismus méně výrazný. Odpovídá to jejich nižšímu socioekonomickému postavení (Hladík et al., 2008; Poláček, 2008a). To podporují analýzy stravy izotopovými metodami. Jedinci ze zázemí konzumovali méně masa než jedinci z hradu (Kaupová et al., 2018; Jílková et al., 2019), a proto nemusely být pohlavní rozdíly plně vyvinuty (Weaver, 2000; Suazo et al., 2008). Výsledky ukazují, že muži ze zázemí mají větší dolní čelisti s rameny dál od sebe. Pohlavní rozdíly jsou největší u jedinců z hradu a nejmenší u jedinců ze zázemí. Tento výsledek koresponduje s prací Riegera (2019). Na lebkách všech skupin mikulčického hradu a podhradí byl pozorován pohlavní dimorfismus. I u lebek je hlavním aspektem větší velikost lebek u mužů. Větší intersexuální rozdíly jsou na lebce patrné u jedinců z hradu (Rieger, 2019).

U jedinců s bohatou hrobovou výbavou jsou předpokládány větší intersexuální rozdíly než u jedinců s chudou hrobovou výbavou. Jedinci s bohatou hrobovou výbavou představují elitní skupinu obyvatel, kteří měli lepší životní podmínky (Dostál, 1966; Poulík, 1975; Poláček, 2008a). Navíc muži s bohatou hrobovou výbavou konzumovali více živočišných proteinů než ženy (Kaupová, 2017; Kaupová et al., 2018) a tak se u nich mohly plně rozvinout sekundární pohlavní znaky (Weaver, 2000; Suazo et al., 2008). Výsledky diplomové práce ale ukazují, že u jedinců s chudou hrobovou výbavou je pohlavní dimorfismus větší než u jedinců s bohatou hrobovou výbavou. Jedinci s bohatou hrobovou výbavou vykazují nejmenší intersexuální rozdíly ze všech skupin. To odporuje předpokladům o socioekonomickém postavení i analýzám potravy (Dostál, 1966; Poulík, 1975; Poláček, 2008a; Kaupová, 2017; Kaupová et al., 2018). Analýza formy u jedinců s bohatou hrobovou výbavou však není signifikantní. Důvodem těchto výsledků může být malý vzorek žen

s bohatou hrobovou výbavou. Dalším vysvětlením je změna pohřebního ritu s rozšířením křesťanství. Pohřbívání s výbavou je pohanskou tradicí, kterou křesťanství přerušilo (Poulík, 1962, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976; Havlík, 1978; Poláček, 2008a).

7.2 Morfologie dolní čelisti v závislosti na lokalitě hrobu

Tato část diskuze se zabývá morfologií dolní čelisti v souvislosti s lokalitou hrobů (hrad, podhradí, zázemí). Jedinci z hradu byli nejvyšší vrstvou (Poláček, 2008a; b), která konzumovala více živočišných proteinů (Ibrová et al., 2017; Kaupová et al., 2018). Proto by měli být jejich dolní čelisti mohutnější, především na ramenou v místech úponů žvýkacích svalů (Lavelle, 1972; Paschetta et al., 2010). Jedinci z podhradí jsou střední vrstvou. I oni žili v relativně příznivých podmínkách (Poláček, 2008a). Strava jedinců ze zázemí obsahovala výrazně méně živočišných proteinů (Kaupová, 2017; Kaupová et al., 2018). Předpokladem proto je, že jedinci z hradu mají větší dolní čelisti s rameny dále od sebe a mohutnější místa úponů žvýkacích svalů.

Muži a ženy se stravovali odlišně dokonce i v rámci jedné lokality (Kaupová, 2017; Kaupová et al., 2018), vykonávali také odlišně namáhavé činnosti (Havelková et al., 2011, 2013). Ženy měly ve středověkých společnostech obecně horší postavení (Kjellström et al., 2009; Reitsema a Vercellotti, 2012). Na tuto dichotomii ukazují i výsledky MANOVA. Mezi pohlavími jsou signifikantní rozdíly i v rámci každé z lokalit (hrad, podhradí, zázemí). Proto je nezbytné porovnávat v rámci jednotlivých lokalit zvlášť muže a ženy.

Výsledky ukazují, že muži z hradu a podhradí jsou si velmi podobní. U mužů z hradu mírně více promínuje *protuberantia mentalis*. Tento výsledek je podpořen i SVM. Jde přitom o oblast se statisticky signifikantním rozdílem. Ženy z hradu mají větší dolní čelist a ramena dál od sebe než ženy z podhradí. Jde o největší rozdíl ze všech srovnání na základě lokality. Ženy z hradu více namáhaly žvýkací svaly. Tento velký rozdíl může být vysvětlen odlišným původem žen. Ve středověku především vysoce postavené ženy často pocházely odjinud. Odlišná morfologie žen může být výsledkem jiné populační afinity i odlišného stravování (Hartl a Clark, 1997; Weaver, 2000; Suazo et al., 2008). Na druhou stranu místní jedinci mají zpravidla lepší postavení než jedinci pocházející odjinud (Baskin, 2008; Kjellström et al., 2009; Groves et al., 2013; Feci et al., 2016). Ženy z hradu a podhradí vykonávali podobně namáhavé činnosti (Havelková et al., 2011, 2013). Výsledky potvrdily odlišné společenské postavení mužů a žen. Jedinci z hradu a z podhradí, obě pohlaví dohromady, byly už dříve analyzovány pomocí landmarkových metod. Největší rozdíly byly v místech svalových úponů

a na symfýze (Ibrová et al., 2017). Kromě symfýzy jde o stejné regiony, jako ukazují výsledky této práce. Vzhledem k odlišné metodě a sloučení pohlaví je porovnání obtížné.

Data ukazují, že muži z hradu mají větší dolní čelist a ramena dál od sebe než jedinci ze zázemí. Ženy z hradu mají větší dolní čelist a ramena dál od sebe než ženy ze zázemí. Ženy z hradu mají mohutnější *processus condylaris*. Opět se ukazuje vyšší status jedinců z hradu (Poláček, 2008a; b). Výsledky srovnání mužů z podhradí a ze zázemí ukazují, že muži z hradu mají ramena dál od sebe. Ženy z podhradí mají dokonce mírně menší dolní čelisti než ženy ze zázemí. Tento výsledek nekoresponduje s výrazně nižší konzumací živočišných proteinů v zázemí (Kaupová, 2017; Kaupová et al., 2018), ani s předpokládaným nižším postavením jedinců ze zázemí (Poláček, 2008a; b).

7.3 Morfologie dolní čelisti v závislosti na hrobové výbavě

Poslední část se věnuje rozlišení jedinců podle hrobové výbavy. Jedinci s bohatou hrobovou výbavou patřili k elitám společnosti, které konzumovaly více živočišných proteinů a těšily se obecně lepším životním podmínkám (Dostál, 1966; Poulík, 1975; Poláček, 2008a; b; Kaupová, 2017; Kaupová et al., 2018). Měli by proto mít mohutnější oblasti úponů žvýkacích svalů. Očekává se, že více prominují místa především úponů žvýkacích svalů (Rando et al., 2014). Výsledky MANOVA ukazují, že hrobová výbava je statisticky významným kritériem při kombinaci s pohlavím. Proto je opět nezbytné porovnávat muže a ženy zvlášť. Tyto výsledky jsou podpořeny i SVM.

Výsledky ukazují, že muži s bohatou hrobovou výbavou mají větší dolní čelisti s rameny dál od sebe. Rozdíl oproti mužům s chudou hrobovou výbavou je ale velmi malý. Rozdíly mezi muži s bohatou a chudou hrobovou výbavou jsou obdobné jako při rozdělení mužů podle lokality hrobů. Srovnání lebek mužů ovšem ukázalo dokonce mírně menší velikost u mužů s bohatou hrobovou výbavou (Rieger, 2019). To neodpovídá vyššímu postavení mužů s bohatou hrobovou výbavou (Poláček, 2008a; b). Z výsledků vyplývá, že ženy s bohatou hrobovou výbavou mají oproti ženám s chudou hrobovou výbavou dolní čelisti výrazně větší a ramena dál od sebe. Tento rozdíl je větší než u všech porovnání žen na základě lokality hrobů. Lebky žen s bohatou hrobovou výbavou jsou také výrazně větší než lebky žen s chudou hrobovou výbavou (Rieger, 2019).

Možnou příčinou je malý vzorek žen s bohatou hrobovou výbavou. Alternativním vysvětlením je opět odlišný původ elitních žen. Jedinci pocházející odjinud obvykle mají horší postavení než místní (Baskin, 2008; Kjellström et al., 2009; Groves et al., 2013; Feci et al., 2016). Vysvětlením je proto proměna pohřebního ritu v kontextu křesťanství. Pohřbívání

s hrobovou výbavou je pohanská tradice. V rámci křesťanského pohřebního ritu jsou zemřelí pohřbíváni bez výbavy. Během 9. století n. l. postupně ubývá hrobů s bohatou výbavou až mizí úplně (Poulík, 1962, 1975; Stloukal a Vyhnálek, 1976; Havlík, 1978; Poláček, 2008a). Bez hrobové výbavy jsou proto pohřbeni i jedinci, kteří patří k elitám. Tento výsledek naznačuje, že rozdělení jedinců podle hrobové výbavy dostatečně neodpovídá skutečnému členění populace.

8 Závěr

Tato práce se zabývala morfologií dolní čelisti obyvatel raně středověkého hradiště Mikulčice. Cíly práce bylo porovnat tyto jedince v závislosti na pohlaví, lokalitě hrobů a hrobové výbavě. Na základě předkládaných výsledků jsou stanoveny tyto závěry:

- Pohlavní dimorfismus byl prokázán jak na celé populaci, tak u všech dílčích skupin. Rozdíly mezi pohlavími jsou statisticky signifikantní u všech skupin s výjimkou jedinců s bohatou hrobovou výbavou. Může za to nízký počet žen s bohatou hrobovou výbavou. Největší rozdíly mezi pohlavími jsou u jedinců z hradu a nejmenší u jedinců s bohatou hrobovou výbavou. Mužské dolní čelisti jsou obecně větší s širšími rameny. U mužů obecně více promínuje okolí bodu *gonion*, *processus coronoideus* a *processus condylaris*.
- Při rozdělení jedinců na základě lokality jsou nejmenší rozdíly mezi muži z hradu a podhradí. Tento výsledek naznačuje, že konzumovali obdobnou stravu. Největší rozdíly jsou mezi ženami z hradu a z podhradí. Ženy z hradu mají větší dolní čelisti s rameny dál od sebe. Vysvětlením může být odlišný původ žen z hradu. Především mezi elitami si ve středověku muži běžně brali ženy z jiné lokality.
- Muži s bohatou hrobovou výbavou mají větší dolní čelisti a ramena dál od sebe než muži s chudou hrobovou výbavou. Rozdíl mezi nimi je srovnatelný s rozdíly mezi muži porovnanými na základě lokality hrobů. Ženy s bohatou hrobovou výbavou mají výrazně větší dolní čelist a ramena dál od sebe než ženy s chudou hrobovou výbavou. U žen jde o největší rozdíl mezi porovnanými skupinami. Tento výsledek může být ovlivněn malým počtem žen s bohatou hrobovou výbavou. Hlavním vysvětlením je proměna pohřebního ritu v kontextu šíření křesťanství. Výsledky naznačují, že rozdělení podle hrobové výbavy odpovídá skutečnému uspořádání mikulčické populace méně než rozdělení podle lokality hrobů.

Tato práce rozšiřuje poznání, které máme o obyvatelích velkomoravských Mikulčic a dokresluje tak pestrý obraz jejich života. Vůbec poprvé byla metodami geometrické morfometrie analyzována skupina obyvatel ze zemědělského zázemí Mikulčic. U jedinců

z hradu a z podhradí již sice morfologie dolní čelisti studována byla, ale pouze landmarkovými metodami. V této práci byl analyzován celý povrch. Díky tomu je možné získat mnohem detailnější informace a přesnější výsledky.

9 Seznam použité literatury

- Ambrose S. 1993. Isotopic analysis: Methodological and interpretive considerations. In: Sandford MK, editor. Investigation of ancient human tissue. 1. vyd. Londýn: Gordon and Breach Science Publisher. p 59–130.
- Atilla E. 2019. Teachmeanatomy. TeachMe Anat [Internet]. Available from: <https://teachmeanatomy.info/head/osteology/mandible/>
- Álvarez Villanueva E, Menéndez Garmendia A, Torres G, Sánchez-Mejorada G, Gómez-Valdés JA. 2017. Gender assessment using the mandible in the Mexican population. Spanish J Leg Med 43:146–154.
- Barrett JH, Beukens RP, Nicholson RA. 2001. Diet and ethnicity during the Viking colonization of Northern Scotland: Evidence from fish bones and stable carbon isotopes. Antiquity 75:145–154.
- Baskin JR. 2008. Mobility and marriage in two medieval Jewish societies. Jewish Hist 22:223–243.
- Behringer W. 2010. Kulturní dějiny klimatu: od doby ledové po globální oteplování. 2. vyd. Praha a Litomyšl: Paseka.
- Bejdová Š, Krajíček V, Velemínská J, Horák M, Velemínský P. 2013. Changes in the sexual dimorphism of the human mandible during the last 1200 years in Central Europe. HOMO - J Comp Hum Biol 64:437–453.
- Beranová M. 2005. Jídlo a pití v pravěku a ve středověku. 1. vyd. Škvařil R, editor. Praha: Academia.
- Bigoni L, Krajíček V, Sládek V, Velemínský P, Velemínská J. 2013. Skull shape asymmetry and the socioeconomic structure of an early medieval central european society. Am J Phys Anthropol 150:349–364.
- Bocherens H, Drucker D. 2003. Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems. Int J Osteoarchaeol 13:46–53.
- Brooks S, Suchey JM. 1990. Skeletal age determination based on the os pubis: A comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods. Hum Evol 5:227–238.
- Brůžek J, Velemínský P. 2006. Sex diagnosis of the early medieval population of Great Moravia (9th to 10th century): proposed population specific discriminant functions for cranial measurements. Časopis Národního Muzea, Řada Přírodovědná 175:41–56.
- Buckberry JL, Chamberlain AT. 2002. Age estimation from the auricular surface of the ilium: A revised method. Am J Phys Anthropol 119:231–239.
- Buikstra JE, Ubelaker DH. 1994. Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains: Poceedings of a Seminar at the Field Museum of Natural History. Fayetteville: Arkansas Archeological Survey.
- Carlson DS. 1976. Temporal variation in prehistoric Nubian crania. Am J Phys Anthropol 45:467–484.
- Carlson DS, Gerven DP van. 1979. Diffusion, Biological Determinism, and Biocultural Adaptation in the Nubian Corridor. Am Anthropol 81:561–580.
- Carlson DS, Van Gerven DP. 1977. Masticatory Function and Post-Pleistocene Evolution in Nubia. Am J Phys Anthropol 46:495–506.
- Cohen MN, Armelagos GJ. 2013. Paleopathology at the origins of agriculture. 2. vyd.

- Cohen MN, Armelagos GJ, editoři. Gainesville: University Press of Florida.
- Corruccini RS, Handler JS. 1980. Temporomandibular Joint Size Decrease in American Blacks: Evidence from Barbados. *J Dent Res* 59:1528.
- Corruccini RS, Potter RHY, Dahlberg AA. 1983. Changing occlusal variation in Pima Amerinds. *Am J Phys Anthropol* 62:317–324.
- Cortes C, Vapnik V. 1995. Support-vector networks. *Mach Learn* 20:273–297.
- Von Cramon-Taubadel N, Frazier BC, Lahr MM. 2007. The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: Theory, methods, and modifications. *Am J Phys Anthropol* 134:24–35.
- Dahlberg AA. 1965. Evolutionary Background of Dental and Facial Growth. *J Dent Res* 44:151–160.
- DiGangi EA, Moore MK. 2013. *Research Methods in Human Skeletal Biology*. Cambridge: Academic Press.
- Dobisíková M, Likovský J, Stránská P, Velemínský P. 2005. Demografické zpracování pohřebiště Prušánky I. Praha.
- Dostál B. 1966. Slovánská pohřebiště ze střední doby hradištní na Moravě. Praha: Academia.
- Dupej J, Krajíček V, Pelikán J. 2015. Low-rank matrix approximations for Coherent point drift. *Pattern Recognit Lett* 52:53–58.
- Dupej J, Krajíček V, Velemínská J, Pelikán J. 2014. Statistical Mesh Shape Analysis with Nonlandmark Nonrigid Registration. In: Thomas Funkhouser, Shi-Min Hu, editoři. *Journal of WSCG* 20. Cardiff. 2–3.
- Feci S, Klapisch-Zuber C, Lett D, Rothstein M. 2016. Women's mobility, rights, and citizenship in medieval and early modern Italy. *Clio Women, Gender, Hist*:48–72.
- Ferembach D, Schwidetzky I, Stloukal M. 1979. Recommandations pour déterminer l'âge et le sexe sur le squelette. *Bull Mem Soc Anthropol Paris* 6:7–45.
- Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A. 2013. Estimation of sex from cranial measurements in a Western Australian population. *Forensic Sci Int* 229:158.e1–158.e8.
- Franklin D, Flavel A, Kuliukas A, Cardini A, Marks MK, Oxnard C, O'Higgins P. 2012. Estimation of sex from sternal measurements in a Western Australian population. *Forensic Sci Int* 217:230.e1–230.e5.
- Franklin D, O'higgins P, Oxnard CE. 2008. Sexual dimorphism in the mandible of indigenous South Africans: A geometric morphometric approach. *S Afr J Sci* 104:101–106.
- Green DM, Swets JA. 1966. *Signal Detection Theory and Psychophysics*. Swets JA, editor. New York, Londýn, Sydney: John Wiley & Sons.
- Groves SE, Roberts CA, Lucy S, Pearson G, Gröcke DR, Nowell G, MacPherson CG, Young G. 2013. Mobility histories of 7th–9th century AD people buried at early medieval Bamburgh, Northumberland, England. *Am J Phys Anthropol* 151:462–476.
- Guiry EJ. 2013. A canine surrogacy approach to human paleodietary bone chemistry: Past development and future directions. *Archaeol Anthropol Sci* 5:275–286.
- Halffman CM, Velemínský P. 2015. Stable isotope evidence for diet in early medieval Great Moravia (Czech Republic). *J Archaeol Sci Reports* 2:1–8.
- Hanáková H. 1988. Antropologické zpracování koster od IX. kostela na lokalitě Mikulčice - Valy. Praha.
- Hartl DL, Clark AG. 1997. *Principles of Population Genetics*. 3. vyd. Sunderland: Sinauer Associates.
- Haruštiaková D, Jarkovský J, Littnerová S, Dušek L. 2012. Vícerozměrné statistické

- metody v biologii. Brno: Akademické nakladatelství Cerm.
- Havelková P, Hladík M, Velemínský P. 2013. Entheseal Changes: Do They Reflect Socioeconomic Status in the Early Medieval Central European Population? (Mikulčice - Kláštersko, Great Moravian Empire, 9th - 10th century). *Int J Osteoarchaeol* 23:237–251.
- Havelková P, Villotte S, Velemínský P, Poláček L, Dobisíková M. 2011. Enthesopathies and activity patterns in the Early Medieval Great Moravian population: Evidence of division of labour. *Int J Osteoarchaeol* 21:487–504.
- Havlíček P, Poláček L, Vachek M. 2003. Geologische Situation im Bereich des Burgwalls von Mikulčice. In: Poláček L, editor. *Studien zum Burgwall von Mikulčice V*. Brno: Archeologický ústav AV ČR. p 11–38.
- Havlík LE. 1978. Morava v 9.-10. století: K problematice politického postavení, sociální a vládní struktury a organizace. 1. vyd. Poulík J, editor. Praha: Academia.
- Hedges REM, Reynard LM. 2007. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *J Archaeol Sci* 34:1240–1251.
- Herrmann MD, Clunie DA, Fedorov A, Doyle SW, Pieper S, Klepeis V, Le LP, Mutter GL, Milstone DS, Schultz TJ, Kikinis R, Kotecha GK, Hwang DH, Andriole KP, Iafrate JA, Brink JA, Boland GW, Dreyer KJ, Michalski M, Golden JA, Louis DN, Lennerz JK. 2018. Implementing the DICOM standard for digital pathology. *J Pathol Inform* 9:1–16.
- Hladík M. 2014. Hospodárske zázemie Mikulčíc: Sídlná štruktúra na strednom toku rieky Morava v 9. - 1. polovici 13. Storočia. *Spisy Arch*. Brno: Archeologický Ústav AV ČR.
- Hladík M, Mazucha Marian, Poláček L. 2008. Das Suburbium des Burgwalls von Mikulčice und seine Bedeutung in der Struktur des Siedlungskomplexes - Bibliografie dějin Českých zemí. In: *Burg - Vorburg - Suburbium. Zur Problematik der Nebenareale frühmittelalterlicher Zentren*. Brno: Archeologický ústav AV ČR. p 179–212.
- Hoffmannová E, Bejdová Š, Borský J, Dupej J, Cagánová V, Velemínská J. 2016. Palatal growth in complete unilateral cleft lip and palate patients following neonatal cheiloplasty: Classic and geometric morphometric assessment. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 90:71–76.
- Hoffmannová E, Moslerová V, Dupej J, Borský J, Bejdová, Velemínská J. 2018. Three-dimensional development of the upper dental arch in unilateral cleft lip and palate patients after early neonatal cheiloplasty. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 109:1–6.
- Hoo ZH, Candlish J, Teare D. 2017. What is an ROC curve? *Emerg Med J* 34:357–359.
- Horowitz SL, Osborne RH, DeGeorge F V. 1960. A cephalometric study of craniofacial variation in adult twins. *Angle Orthod* 30:1–5.
- Hotelling H. 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *J Educ Psychol* 24:417–441.
- Hunter WS, Garn SM. 1972. Disproportionate sexual dimorphism in the human face. *Am J Phys Anthropol* 36:133–138.
- Hylander WL. 1977. The Adaptive Significance of Eskimo Craniofacial Morphology. In: Dahlberg AA, Graber TM, editoři. *Orofacial Growth and Development*. 1. vyd. Berlin: De Gruyter Mouton. p 42.
- Hylander WL. 2006. Functional anatomy and biomechanics of the masticatory apparatus. In: Laskin D, Greene CS, Hylander WL, editoři. *Temporomandibular Disorders: An Evidence-Based Approach to Diagnosis and Treatment*. Berlín, Chicago: Quintessence. p 3–34.
- Ibrová A, Dupej J, Stránská P, Velemínský P, Poláček L, Velemínská J. 2017. Facial skeleton asymmetry and its relationship to mastication in the Early Medieval period

- (Great Moravian Empire, Mikulčice, 9th–10th century). *Arch Oral Biol* 84:64–73.
- Ingervall B, Helkimo E. 1978. Masticatory muscle force and facial morphology in man. *Arch Oral Biol* 23:203–206.
- İşcan MY, Kennedy KAR. 1989. Reconstruction of life from the skeleton. İşcan MY, Kennedy KAR, editoři. New York: Alan R. Liss, Inc.
- İşcan MY, Steyn M. 2013. The human skeleton in forensic medicine. Third Edit. Springfield: Charles C Thomas Publisher.
- Jílková M, Kaupová S, Černíková A, Poláček L, Brůžek J, Velemínský P. 2019. Early medieval diet in childhood and adulthood and its reflection in the dental health of a Central European population (Mikulčice, 9th–10th centuries, Czech Republic). *Arch Oral Biol* 107:104526.
- Kaifu Y. 1997. Changes in mandibular morphology from the Jomon to modern periods in eastern Japan. *Am J Phys Anthropol* 104:227–43.
- Kaupová S. 2017. Bioarchaeology of the medieval population of central Europe: Relationships among health status, social context and nutrition.
- Kaupová S, Herrscher E, Velemínský P, Cabut S, Poláček L, Brůžek J. 2014. Urban and rural infant-feeding practices and health in early medieval central Europe (9th–10th Century, Czech Republic). *Am J Phys Anthropol* 155:635–651.
- Kaupová S, Velemínský P, Herrscher E, Sládek V, Macháček J, Poláček L, Brůžek J. 2018. Diet in transitory society: isotopic analysis of medieval population of Central Europe (ninth–eleventh century AD, Czech Republic). *Archaeol Anthropol Sci* 10:923–942.
- Kaupová S, Velemínský P, Stránská P, Bravermanová M, Frolíková D, Tomková K, Frolík J. 2019. Dukes, elites, and commoners: dietary reconstruction of the early medieval population of Bohemia (9th–11th Century AD, Czech Republic). *Archaeol Anthropol Sci* 11:1887–1909.
- Kemkes-Grottenthaler A, Löbig F, Stock F. 2002. Mandibular ramus flexure and gonial eversion as morphologic indicators of sex. *HOMO - J Comp Hum Biol* 53:97–111.
- Kemkes A, Göbel T. 2006. Metric assessment of the „mastoid triangle” for sex determination: A validation study. *J Forensic Sci* 51:985–989.
- Kiliaridis S. 1995. Masticatory muscle influence on craniofacial growth. *Acta Odontol Scand* 53:196–202.
- Kjellström A, Storå J, Possnert G, Linderholm A. 2009. Dietary patterns and social structures in medieval Sigtuna, Sweden, as reflected in stable isotope values in human skeletal remains. *J Archaeol Sci* 36:2689–2699.
- Klanica Z. 2006a. Nechvalín, Prušánky: čtyři slovanská pohřebiště Díl 1. Archeologický ústav AV ČR.
- Klanica Z. 2006b. Nechvalín, Prušánky: čtyři slovanská pohřebiště Díl 2. Brno: Archeologický ústav AV ČR.
- Larsen CS. 1995. Biological Changes in Human Populations with Agriculture. *Annu Rev Anthropol* 24:185–213.
- Lavelle CLB. 1972. A comparison between the mandibles of Romano-British and nineteenth century periods. *Am J Phys Anthropol* 36:213–219.
- Lee-Thorp JA, Sealy JC, van der Merwe NJ. 1989. Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet. *J Archaeol Sci* 16:585–599.
- Li F, He H. 2018. Assessing the Accuracy of Diagnostic Tests. *Shanghai Arch Psychiatry* 30:207–212.
- Lieberman DE, Krovitz GE, Yates FW, Devlin M, St. Claire M. 2004. Effects of food

- processing on masticatory strain and craniofacial growth in a retrognathic face. *J Hum Evol* 46:655–677.
- Loth SR, Henneberg M. 1996. Mandibular ramus flexure: A new morphologic indicator of sexual dimorphism in the human skeleton. *Am J Phys Anthropol* 99:473–485.
- Lovejoy CO. 1985. Dental wear in the Libben population: Its functional pattern and role in the determination of adult skeletal age at death. *Am J Phys Anthropol* 68:47–56.
- Macháček J. 2012. „Velkomoravský stát” - kontroverze střeoevropské medievistiky. *Archeol Rozhl* 64:775–787.
- Macháček J. 2013. Nový začátek. U kolébky dnešních civilizací (600-1000). In: Bárta M, Kovář M, editoři. *Civilizace a dějiny : historie světa pohledem dvaceti českých vědců*. Praha: Academia. p 231–257.
- Macháček J, Doláková N, Dresler P, Havlíček P, Hladilová Š, Přichystal A, Roszková A, Smolíková L. 2007. Raně středověké centrum na Pohansku u Břeclavi a jeho přírodní prostředí. *Archeol Rozhl* 59:278–318.
- Martin DL, Armelagos GJ. 1985. Skeletal remodeling and mineralization as indicators of health: an example from prehistoric Sudanese Nubia. *J Hum Evol* 14:527–537.
- Mcnamara JA. 1980. Functional determinants of craniofacial size and shape. *Eur J Orthod* 2:131–159.
- Menegaz RA, Sublett S V., Figueroa SD, Hoffman TJ, Ravosa MJ, Aldridge K. 2010. Evidence for the influence of diet on cranial form and robusticity. *Anat Rec* 293:630–641.
- Van der Merwe NJ. 1982. Carbon Isotopes, Photosynthesis, and Archaeology: Different pathways of photosynthesis cause characteristic changes in carbon isotope ratios that make possible the study of prehistoric human diets on JSTOR. *Am Sci* 70:596–606.
- Moss ML. 1997. The functional matrix hypothesis revisited. 1. The role of mechanotransduction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 112:8–11.
- Musilová B, Dupej J, Velemínská J, Chaumoitre K, Brůžek J. 2016. Exocranial surfaces for sex assessment of the human cranium. *Forensic Sci Int* 269:70–77.
- Nicholson E, Harvati K. 2006. Quantitative analysis of human mandibular shape using three-dimensional geometric morphometrics. *Am J Phys Anthropol* 131:368–383.
- Oettlé AC, Becker PJ, De Villiers E, Steyn M. 2009. The influence of age, sex, population group, and dentition on the mandibular angle as measured on a South African sample. *Am J Phys Anthropol* 139:505–511.
- Opravil E. 2000. Zur Umwelt des Burgwalls von Mikulčice und zur pflanzlichen Ernährung seiner Bewohner. In: *Studien zum Burgwall von Mikulčice IV*. Brno: Archeologický ústav AV ČR. p 9–169.
- Paschetta C, De Azevedo S, Castillo L, Martínez-Abadías N, Hernández M, Lieberman DE, González-José R. 2010. The influence of masticatory loading on craniofacial morphology: A test case across technological transitions in the Ohio valley. *Am J Phys Anthropol* 141:297–314.
- Pearson OM, Lieberman DE. 2004. The aging of Wolff's „law”: Ontogeny and responses to mechanical loading in cortical bone. *Am J Phys Anthropol* 39:63–99.
- Pezzullo JC. 2013. *Biostatistics for dummies*. Wiley.
- Poláček L. 1997. Naturräumliche Bedingungen urzeitlicher Besiedlung. In: *Studien zum Burgwall von Mikulčice II*. Brno: Archeologický ústav AV ČR, Brno. p 29–43.
- Poláček L. 2008a. Great Moravia, the Power Centre at Mikulčice and the Issue of the Socio-economic Structure. In: *Studien zum Burgwall von Mikulčice VIII*. Brno: Archeologický ústav AV ČR. p 11–44.

- Poláček L. 2008b. Das Hinterland des frühmittelalterlichen Zentrums in Mikulčice. In: Internationale Tagungen in Mikulčice VI. Brno: Archeologický ústav AV ČR, Brno, v. v. i. p 257–297.
- Poláček L, Marek O. 2005. Grundlagen der Topographie des Burgwalls von Mikulčice. Die Grabungsflächen 1954–1992. In: Studien zum Burgwall von Mikulčice VII. Brno: Archeologický ústav AV ČR. p 6–358.
- Poláček L, Škojec J, Havlíček P. 2005. Archaologische und geologische Untersuchungen der Sanddiinen am Zusammenfluß von March und Thaya, Mahren. In: Poláček L, editor. Studien zum Burgwall von Mikulčice VI. Brno: Archeologický ústav AV ČR. p 109–178.
- Pouřík J. 1962. Velkomoravské hradiště Mikulčice. 2. Brno: Krajské nakladatelství.
- Pouřík J. 1975. Mikulčice. Sídlo a pevnost knížat velkomoravských. 1. Štěpánek M, editor. Praha: Academia.
- Rando C, Hillson S, Antoine D. 2014. Changes in mandibular dimensions during the mediaeval to post-mediaeval transition in London: A possible response to decreased masticatory load. *Arch Oral Biol* 59:73–81.
- Reitsema LJ, Vercellotti G. 2012. Stable isotope evidence for sex- and status-based variations in diet and life history at medieval Trino Vercellese, Italy. *Am J Phys Anthropol* 148:589–600.
- Richards MP, Hedges REM. 1999. Stable Isotope Evidence for Similarities in the Types of Marine Foods Used by Late Mesolithic Humans at Sites Along the Atlantic Coast of Europe. *J Archaeol Sci* 26:717–722.
- Rieger V. 2019. Pohlavní dimorfismus a morfologie lebky s ohledem na sociální strukturu velkomoravského pohřebiště Mikulčice.
- Rosas A, Bastir M. 2002. Thin-plate spline analysis of allometry and sexual dimorphism in the human craniofacial complex. *Am J Phys Anthropol* 117:236–245.
- Rosas A, Bastir M, Martínez-Maza C, Bermúdez de Castro JM. 2002. Sexual dimorphism in the Atapuerca-SH hominids: The evidence from the mandibles. *J Hum Evol* 42:451–474.
- Saini V, Srivastava R, Shamal SN, Singh TB, Pandey AK, Tripathi SK. 2011. Sex determination using mandibular ramus flexure: A preliminary study on Indian population. *J Forensic Leg Med* 18:208–212.
- Salesse K, Kaupová S, Brůžek J, Kuželka V, Velemínský P. 2019. An isotopic case study of individuals with syphilis from the pathological-anatomical reference collection of the national museum in Prague (Czech Republic, 19th century A.D.). *Int J Paleopathol* 25:46–55.
- Sardi ML, Novellino PS, Pucciarelli HM. 2006. Craniofacial morphology in the Argentine center-west: Consequences of the transition to food production. *Am J Phys Anthropol* 130:333–343.
- Schmitt A, Murail P, Cunha E, Rougé D. 2002. Variability of the Pattern of Aging on the Human Skeleton: Evidence from Bone Indicators and Implications on Age at Death Estimation. *J Forensic Sci* 47:15551J.
- Schoeller DA, Minagawa M, Slater R, Kaplan IR. 1986. Stable isotopes of carbon, nitrogen and hydrogen in the contemporary north american human food web. *Ecol Food Nutr* 18:159–170.
- Schoeninger MJ, Deniro MJ, Tauber H. 1983. Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet. *Science* 220:1381–1383.
- Smith H, Gnanadesikan R, Hughes JB. 1962. Multivariate Analysis of Variance

- (MANOVA). *Biometrics* 18:22.
- Smrčka V, Velemínský P, Bůžek F, Zocová J. 2008. Stable C, N Isotopes in Human Skeletal Material from the Great Moravian Burial Site at Mikulčice-Kostelisko. In: *Studien zum Burgwall von Mikulčice VIII*. Brno: Archeologický ústav AV ČR. p 169–175.
- Spronsen PHV, Weijs WA, Valk J, Prah-Andersen B, Ginkel FCV. 1991. Relationships between jaw muscle cross-sections and craniofacial morphology in normal adults, studied with magnetic resonance imaging. *Eur J Orthod* 13:351–361.
- Stloukal M. 1963. Der Gesundheitszustand des Gebisses bei der Population von grossmährischen Mikulčice. *Anthropologie* 1:35–45.
- Stloukal M. 1964. Čtvrté pohřebiště na hradišti „Valy“ u Mikulčic. *Památky Archeol* 55:479–505.
- Stloukal M. 2007. Paleodemografické a antropologické zpracování kosterních pozůstatků ze středověkého pohřebiště v Čechách. Praha.
- Stloukal M, Hanáková H. 1967. Menschliche Unterkiefer aus Mikulčice. *Anthropol* 5:33–51.
- Stloukal M, Hanáková H. 1985. Antropologický materiál z pohřebiště Mikulčice–Klášteřisko. *Památky Archeol* 76:540–588.
- Stloukal M, Vyhnálek L. 1970. Auswertung der Spondylosis deformans an altslawischen Skeletten. *Anthropol* 8:31–38.
- Stloukal M, Vyhnálek L. 1976. Slované z velkomoravských Mikulčic. 1. Jelínek J, editor. Praha: Academia.
- Stránská P, Velemínský P, Likovský J, Velemínská J. 2002. The Great Moravian Cemetery at Josefov. Basic anthropological characteristics, possible expressions of physiological and physical loads, state of health. *Časopis Národního muzea, řada přírodovědná* 171:131–175.
- Stránská P, Velemínský P, Velemínská J. 2008. The state of dentition in the Great Moravian population. In: *Studien zum Burgwall von Mikulčice VIII*. Brno: Archeologický ústav AV ČR. p 121–140.
- Suazo I, Zavando Matamala DA, Smith RL. 2008. Evaluating accuracy and precision in morphologic traits for sexual dimorphism in malnutrition human skull: A comparative study. *Int J Morphol* 27:381–386.
- Svoboda J, Vašků Z, Cílek V. 2003. Velká kniha o klimatu zemí Koruny české. Czech Republic: Regia.
- Štefan I. 2011. Great Moravia, statehood and archaeology. The ‘Decline and Fall’ of one early medieval polity. In: Macháček J, Ungerman Š, editoři. *Frühgeschichtliche Zentralorte in Mitteleuropa*. Bonn: Habelt-Verlag. p 333–354.
- Vapnik VN. 1998. *Statistical Learning Theory*. Haykin S, editor. New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: John Wiley & Sons.
- Varrela J. 1990a. Occurrence of malocclusion in attritive environment: a study of a skull sample from southwest Finland. *Eur J Oral Sci* 98:242–247.
- Varrela J. 1990b. Effects of attritive diet on craniofacial morphology: a cephalometric analysis of a Finnish skull sample. *Eur J Orthod* 12:219–23.
- Varrela J. 1992. Dimensional variation of craniofacial structures in relation to changing masticatory-functional demands. *Eur J Orthod* 14:31–36.
- Velemínská J, Bigoni L, Krajčůvek V, Borský J, Šmahelová D, Čagánová V, Peterka M. 2012. Surface facial modelling and allometry in relation to sexual dimorphism. *HOMO - J Comp Hum Biol* 63:81–93.
- Velemínský P, Likovský J, Trefný P, Dobisíková M, Velemínská J, Poláček L, Hanáková H. 2005. Anthropologische Analyse des Großmährisches Gräberfeldes Kostelisko im

- Suburbium des Burgwalls von Mikulčice. In: Studien zum Burgwall von Mikulčice VI. Brno: Archeologický ústav AV ČR. p 539–366.
- de Villiers H. 1968. Sexual dimorphism of the skull of the South African Banu-speaking Negro. *S Afr J Sci* 64:118–124.
- Walker GF, Kowalski CJ. 1972. On the growth of the mandible. *Am J Phys Anthropol* 36:111–117.
- Walker PL. 2008. Sexing skulls using discriminant function analysis of visually assessed traits. *Am J Phys Anthropol* 136:39–50.
- Weaver DS. 2000. Skeletal tissue mechanics. *Am J Phys Anthropol* 112:435–436.
- Weijs WA, Hillen B. 1986. Correlations between the cross-sectional area of the jaw muscles and craniofacial size and shape. *Am J Phys Anthropol* 70:423–431.
- Wellens HLL, Kuijpers-Jagtman AM, Halazonetis DJ. 2013. Geometric morphometric analysis of craniofacial variation, ontogeny and modularity in a cross-sectional sample of modern humans. *J Anat* 222:397–409.
- White TD, Black MT, Folkens PA. 2012. Human osteology. 3. vyd. San Diego, San Francisco, New York: Academic Press.
- Williams BA, Rogers TL. 2006. Evaluating the accuracy and precision of cranial morphological traits for sex determination. *J Forensic Sci* 51:729–735.
- Wrangham R, Conklin-Brittain N. 2003. 'Cooking as a biological trait'. *Comp Biochem Physiol Part A Mol Integr Physiol* 136:35–46.
- Zawada Z. 2003. Fischreste aus Mikulčice. In: Poláček L, editor. Studien zum Burgwall von Mikulčice V. Brno: Archeologický ústav AV ČR. p 339–354.
- Zvára K, Štěpán J. 2019. Pravděpodobnost a matematická statistika. 6. vyd. Praha: MatfyzPress.
- Zvárová J. 2011. Základy statistiky pro biomedicínské obory I. Praha: Karolinum.

10 Seznam zkratek

0	Jedinci s chudou hrobovou výbavou.
^{13}C	Stabilní, méně běžný izotop uhlíku. Oproti nejběžnějšímu izotopu ^{12}C má jeden proton navíc
^{15}N	Stabilní, méně běžný izotop dusíku. Oproti nejběžnějšímu izotopu ^{14}N má jeden proton navíc
ANOVA	Analýza rozptylu (Analysis of variance).
AUC	Oblast pod ROC křivkou (Area under curve).
C3	Rostliny, které fotosyntetizují pomocí Calvinova cyklu.
C4	Rostliny, které fotosyntetizují pomocí Hatch-Slackova cyklu.
CPD-DCA	Coherent Point Drift-Dense Correspondence Analysis.
CV	křížová validace (cross validation)
DICOM	Formát standardně používaný pro manipulaci s daty získanými výpočetní tomografií (Digital Imaging and Communications in Medicine).
E	Jedinci s bohatou hrobovou výbavou.
F	Ženy (Female).
GPA	Generalizovaná Prokrustova analýza.
H60	Výpočetní algoritmus pro rekonstrukci kostní tkáně.
M	Muži (Male).
MANOVA	Multivariační analýza rozptylu (Multivariate analysis of variance).
PC	Hlavní komponenta (Principal Component)
PC+	Vysoké hodnoty hlavní komponenty.
PC-	Nízké hodnoty hlavní komponenty.
PCA	Analýza hlavních komponent (Principal Component Analysis).
ROC křivka	Receiver Operating Characteristic curve.
SVM	Metodou podpůrných vektorů (Support Vector Machines).

11 Seznam antropometrických bodů a linií

Landmark	Definice
<i>coronoid</i>	Nejvýraznější bod na <i>processus coronoideus</i> .
<i>gnathion</i>	Nejvíce inferiorní bod na linii symfýzy.
<i>gonion</i>	Bod, který leží na úhlu dolní čelisti nejvíce inferiorně a nejvíce laterálně.
<i>intradentale</i>	Střední přední bod na symfýze mezi středními řezáky.
<i>pogonion</i>	Nejvíce anteriorní bod na <i>protuberantia mentalis</i> v linii symfýzy.
<i>supramentale</i>	Nejhlubší bod na křivce symfýzy dolní čelisti mezi body <i>intradentale</i> a <i>pogonion</i> .